



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRH SKLADBY ZDROJŮ PRO SÍŤOVOU
NEZÁVISLOST**

DRAFT MIX FOR NETWORK INDEPENDENCE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radovan Horváth

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Radovan Horváth**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh skladby zdrojů pro síťovou nezávislost

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro výrobní areál firmy Tedom (výrobu elektro) bude proveden návrh skladby zdrojů energií zaměřený primárně na nezávislost dodávky elektrické energie. Jako zdroj energie bude uvažována fotovoltaická elektrárna doplněná bateriovou akumulací a kogenerační jednotka. Na základě zadaných průběhů spotřeby elektrické a tepelné energie bude hledána vhodná velikost jednotlivých zdrojů pro efektivní a provozně bezpečné zajištění potřeb areálu.

Cíle diplomové práce:

1. Zpracovat rešerši o bateriových systémech pro akumulaci el. energie.
2. Zpracovat bilanční model systému dodávky energie pro zvolený objekt.
3. Provést návrh velikosti zdrojů a akumulátorů pro zadaný objekt.
4. Realizovat technicko-ekonomickou studii směřující k nalezení cenově výhodného řešení.

Seznam literatury:

Cabeza L., Advances in thermal energy storage systems :methods and applications

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16.

V Brně, dne 29. 11. 2015



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

Abstrakt

Cílem diplomové práce je vypracování návrhu skladby zdrojů pro síťovou nezávislost. Dále zpracovat přehled o bateriových systémech pro akumulaci elektrické energie a bilanční model systému dodávky energie pro zvolený objekt. Praktická část diplomové práce pojednává o potřebné velikosti zdrojů a akumulátorů pro autonomní chod provozu v letních měsících a zároveň realizuje technicko-ekonomickou studii směřující k nalezení cenově výhodného řešení. Práce je rozdělená do 6 kapitol, obsahuje 16 tabulek, 18 obrázků. Diplomová práce přináší jednu z možností jak nakonfigurovat fotovoltaický systém a zároveň popisuje parametry, funkce a výběr mezi nejpoužívanějšími technologiemi. Zhodnocení a výsledky teoretických postupů jsou popsány v závěrečné části práce.

Klíčova slova

akumulátor, fotovoltaický článek, fotovoltaický panel, fotovoltaika, fotovoltaický systém, návrh fotovoltaického ostrova, ekonomické zhodnocení

Abstract

The aim of this diploma thesis is the development of research on the topic of the draft mix for network independence. Next is the outline the various design solutions of the battery systems for accumulation electric energy and balance model energy supply system for the selected object. The practical part of diploma thesis deals with necessary resources and the size of batteries for autonomous operation during the summer months and also implements technical and economic studies aimed at finding cost-effective solutions. The work is divided into 6 chapters that contain 16 tables and 18 figures. Diploma thesis brings an option to configure a photovoltaic system and also describes the features, functions and the choice between the most used technologies. Evaluation of results of theoretical methods are described in the final part.

Key words

battery, photovoltaic cell, photovoltaic panel, photovoltaics, photovoltaic system, draft of photovoltaic system, economic evaluation

Bibliografická citace

HORVÁTH, R. *Návrh skladby zdrojů pro síťovou nezávislost*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 74 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..

Prohlášení autora o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma: *Návrh skladby zdrojů pro síťovou nezávislost* zpracoval samostatně. Veškeré prameny a zdroje informací, které jsem použil k sepsání této práce, jsou uvedeny v seznamu použitých pramenů a literatury.

Jméno a příjmení: Bc. Radovan Horváth

Podpis:

V Brně dne:

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při tvorbě diplomové práce. Dále bych rád poděkoval své přítelkyni a rodině za podporu během celého studia.

Obsah

Úvod	1
1. Slnecná energia	2
1.1 Slnecné podmienky v ČR	3
2. Základný popis a princíp fotovoltických článkov	5
2.1 Fotovoltický článok	5
2.1.2 Fotoelektrický jav	6
2.1.3 Volt-Ampérová charakteristika FV článku	7
2.2 Rozdelenie FV článkov podľa technológie	8
2.3 Rozdelenie FV článkov podľa generácií	9
3. Prvky fotovoltického ostrovného systému	10
3.1 Fotovoltické panely	11
3.1.1 Polykryštalické panely	11
3.1.2 Monokryštalické panely	12
3.1.3 Amorfne panely	13
3.1.4 Životnosť FV panelov	13
3.1.5 Údržba FV panelov	14
3.2 Solárne regulátory	14
3.2.1 PWM regulátor	14
3.2.2 MPPT menič	15
4. Batérie	16
4.1 Akumulácia energie	16
4.1.3 Princípy uchovania elektrickej energie	17
4.1.4 Porovnanie vlastností batérií	19
4.2 Batériové systémy	20
4.2.1 Skladanie článkov – batérií	20
4.2.2 Najčastejšie typy sekundárnych článkov	20
4.2.3 Parametre akumulátorov	21
4.2.4 Porovnanie jednotlivých akumulátorov	21
4.2.5 Energetická účinnosť akumulátorov	22
4.2.6 Životnosť batérií	22
4.2.7 Radenie akumulátorov do celkov	24
5. Návrh fotovoltického systému	25
5.1 Popis súčasného stavu	25
5.1.1 Kogeneračné jednotky	26

5.2 Vnútorne straty fotovoltaickej elektrárne.....	31
5.2.1 Odhadovaný výpočet strát	31
5.3 Podmienky pre fotovoltaické panely.....	33
5.3.1 Optimálna orientácia panelov	33
5.3.2 Slnéčné podmienky	34
5.3.3 Straty výkonu fotovoltaických panelov	35
5.4 Návrh a dimenzovanie solárnych panelov.....	38
5.5 Návrh FV Invertoru	42
5.6 Návrh Meniča	43
5.7 Návrh Akumulátorov energie	44
5.8 Návrh Solárneho regulátora	45
6. Technicko – Ekonomická bilancia	46
6.1 Finančný plán.....	46
6.2 Zhodnotenie investície	47
Záver	49
Zoznam použitých zdrojov.....	50
Prílohy.....	52

Úvod

Bez využívania elektrickej energie si už v dnešnej dobe človek nevie predstaviť život. Kontinuálnym historickým poznávaním princípov premien energie nám umožnilo si klásť otázku, aký zdroj elektrickej energie je v dnešnej dobe ideálne využívať. Je odpozorované ako veľmi negatívne vplýva využívanie neobnoviteľných zdrojov energie (fosílnych palív). Existuje mnoho štúdií, ktoré dokazujú priamy účinok na znečistenie ovzdušia rôznymi produktami spaľovania a tiež ich samotná vyčerpatelnosť. Preto sa do popredia dáva celosvetová debata o využívaní obnoviteľných zdrojov energie. Jedným z týchto zdrojov je aj výroba elektrickej energie premenou zo slnečnej energie prostredníctvom fotovoltaiických panelov.

V dnešnej dobe sú zásoby klasických palív obrovským tempom vyčerpávané a pohľad do budúcnosti uprednostňuje náhradu klasických palív za obnoviteľné zdroje energie. Nevýhodou obnoviteľných zdrojov a teda aj fotovoltaiických elektrární je nízka výkonová hustota, malá účinnosť a vysoké vstupné náklady. To však nebráni vedeckej obci usilovne pracovať na vylepšení technológie v oblasti fotovoltaiiky a tým čo najviac zvýšiť účinnosť. Zdá sa, že trendom v budúcnosti bude aj akumulácia elektrickej energie v rôznych podobách.

Cieľom tejto diplomovej práce je nahradiť elektrickú energiu z verejného zdroja fotovoltaiickou elektrárnou. Ide o zbavenie sa závislosti od verejnej siete a začať byť autonómny ako najviac to len pôjde. Účelom mojej práce teda spočíva v popísaní návrhu fotovoltaiického systému pre daný objekt a uviesť ekonomickú náročnosť tohto projektu. Ďalej zakomponovať do návrhu aj akumuláciu elektrickej energie v podobe batérií. Zosúladiť prevádzku fotovoltaiiky s osadenou kogeneračnou jednotkou, ktorá bude dopĺňať chýbajúci výkon pre bezproblémový chod areálu.

Aby sme mohli začať navrhovať fotovoltaiický systém, je dôležité zistiť čo najviac informácií od zákazníka. Dôležitú úlohu zohráva cena energií z verejnej siete, ktorá, ak bude nízka, je riziko stratovosti investície na vysokej úrovni. Je potrebné, aby si zákazník uvedomil, čo od investície chce čakať a urobiť vhodné štúdium na základe získaných informácií, či podnikateľský plán je vôbec vhodné aplikovať na daný objekt.

1. Slnečná energia

Slnečná energia patrí medzi najdostupnejšie a najčistejšie zdroje energie na Zemi. Slnko produkuje žiarivú energiu v celom rozsahu spektra od najmenších vlnových dĺžok röntgenového a ultrafialového žiarenia, až po metrové dĺžky rádiového žiarenia. Hmotnosť slnka je asi 330 000-krát väčšia než hmotnosť Zeme a predstavuje 99,8 % hmotnosti slnečnej sústavy. Vek slnka sa odhaduje na 4,6 miliárd rokov a predpokladá sa, že bude svietiť ešte asi 5 až 7 miliárd rokov. Teplota na povrchu Slnka je približne 5800 K, preto ho ľudia vnímajú ako žlté (aj keď maximum jeho vyžarovania je v zelenej časti viditeľného spektra). Slnko je žeravá plazmová guľa, ktorá bez prestávky produkuje veľké množstvo energie. Jeho výkon je asi 4×10^{26} W, z čoho na Zem dopadá asi 45 miliardtin. Približne polovica žiarivého toku Slnka je pohltená zemským povrchom a následne je vyžiarená vo forme IR žiarenia do vesmíru. Veľká časť prichádzajúcej energie je spotrebovaná na odparenie vody v oceánoch.

Zloženie Slnka nie je homogénne, ale jeho chemické zloženie je závislé na hĺbke. V jadre vplyvom jadrových reakcií je väčší obsah hélia, než je na povrchu. V jadre je vodík zastúpený v pomere 34 % a hélium 64 %. Okrem týchto dvoch hlavných prvkov, v Slnku sa nachádza v stopovom množstve väčšina prvkov, ktoré sú známe na Zemi. Celkovo sa Slnko skladá v hmotnostnom pomere a to približne z 75 % vodíka a 25 % hélia.[1]

Slnečné žiarenie môžeme rozdeliť do dvoch zložiek:

- Priame slnečné žiarenie (I_p)
- Difúzne slnečné žiarenie (I_D)
 - Ide o rozptýlené svetlo z odrazu o molekuly plynov, prachu a mrakov
 - Intenzita difúzneho žiarenia vzrastá so súčiniteľom znečistenia (Z)

Teoretické množstvo energie dopadajúce za jednotku času na jednotkovú plochu mimo zemskú atmosféru sa nazýva slnečná konštanta, jej hodnota je približne $I_0 = 1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Mierou zmenšenia intenzity tohto žiarenia je súčiniteľ znečistenia Z , ktorý závisí od obsahu prímiesí a atmosférickom tlaku vzduchu.

Intenzitu priameho slnečného žiarenia dopadajúceho na plochu kolmú k lúčom (I_{PN}) môžeme popísať rovnicou:

$$I_{PN} = I_0 \cdot A^{-Z} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

Pre obecnú položenú plochu potom platí:

$$I_p = I_{PN} \cdot \cos \gamma \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$$

kde γ – uhol dopadu slnečných lúčov

Teoretické množstvo energie dopadajúce na oslnenú plochu za deň je závislé od sklonu kolektoru α a súčiniteľa znečistenia Z . Ideálny uhol pre využitie slnečného žiarenia v maximálnej možnej miere sa v priebehu roka mení. Tento uhol sa mení nasledovne:

- Letné obdobie $30^\circ - 45^\circ$
- Zimné obdobie $60^\circ - 90^\circ$

Súčiniteľ znečistenia závisí od rôznych faktorov ako nadmorská výška, priemysel a pod.

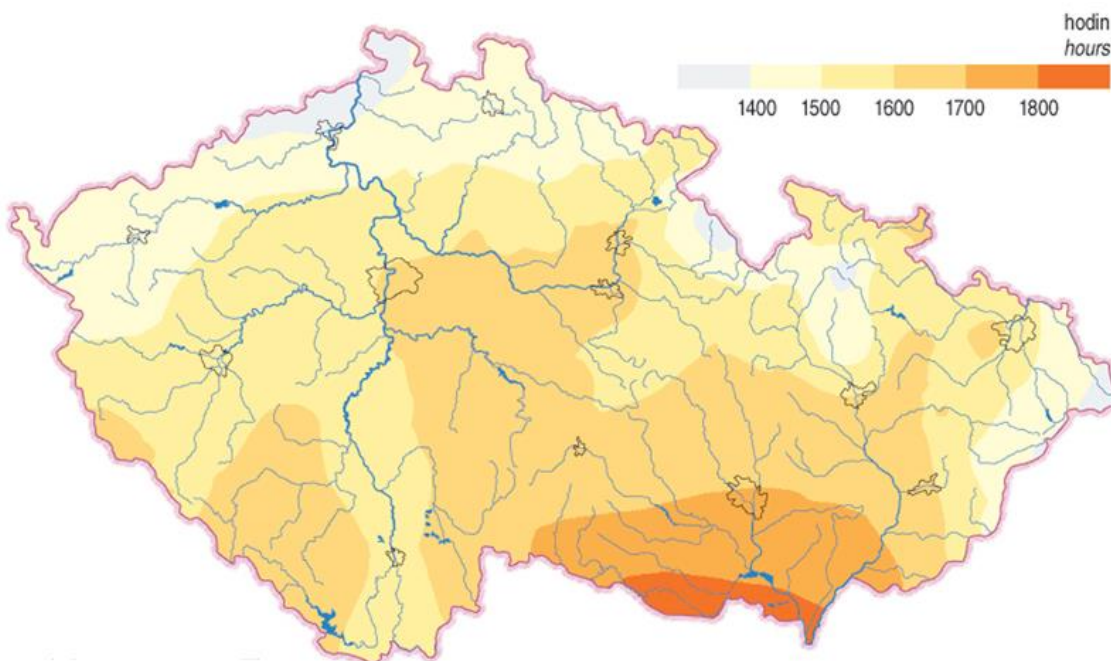
typ oblasti	súčiniteľ znečistenia Z
miesta nad 2000 m. n. m	2,0
miesta nad 1000 m. n. m	2,5
vidiek bez priemyslových exhalácií	3,0
mestá a priemyslové strediská	4,0
silno znečistené prostredie	$\geq 5,0$

Tab. 1 Typické hodnoty súčiniteľa znečistenia[2]

1.1 Slnečné podmienky v ČR

Česká republika leží na severnej pologuli v strede európskeho svetadielu, kde nie sú také dobré podmienky ako napríklad v rovníkových oblastiach z hľadiska slnečného žiarenia. Ale aj v ČR je možné vyrábať premenou slnečného žiarenia elektrickú energiu.

Celkový ročný úhrn dopadajúcej slnečnej energie ovplyvňuje najmä orientácia systému vzhľadom ku slnku, zemepisná poloha, doba slnečného svitu, čistota ovzdušia a nadmorská výška.[1]

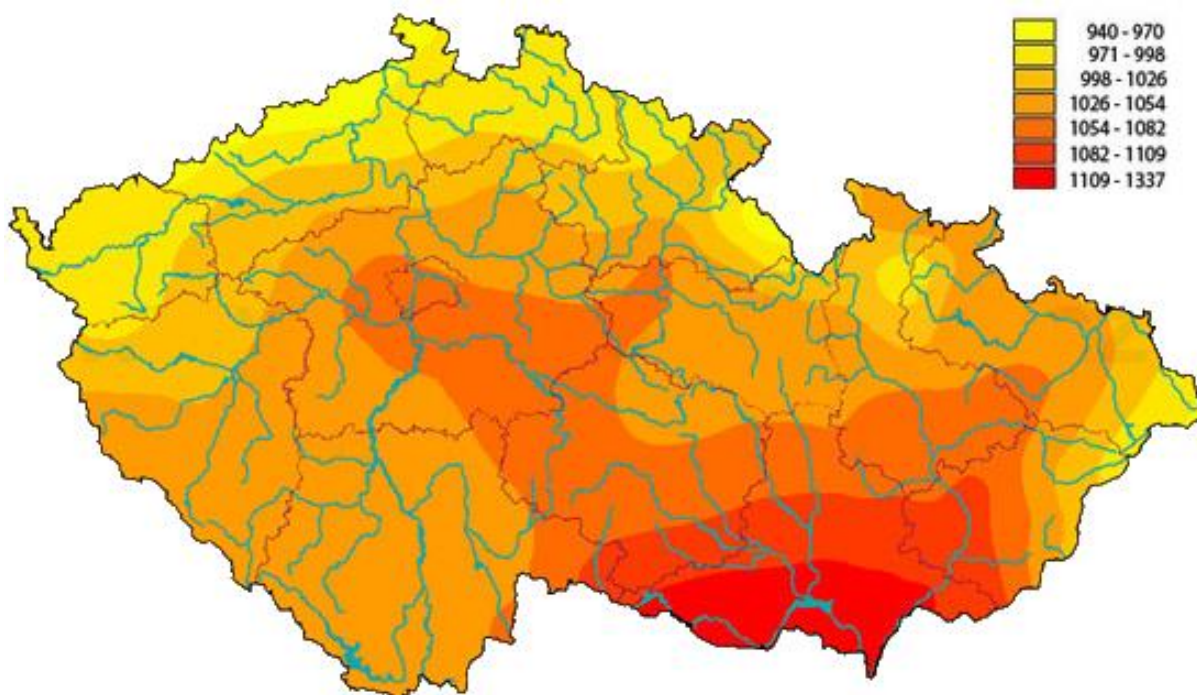


Obr. 1 Mapa trvania slnečného svitu za rok v ČR [2]

Podmienky pre využitie slnečnej energie sú na území Českej republiky relatívne dobré. Celková doba slnečného svitu je od 1400 do 1700 hodín za rok bez oblačnosti.

Vhodnosť lokality pre využitie slnečného žiarenia ale najlepšie vystihuje globálne množstvo energie, ktoré dopadne na 1 m², ktoré vyplynulo z dlhodobého meteorologického merania. V Českej republike dopadne na 1 m² približne 950 až 1340 kWh slnečnej energie, z čoho hlavná časť (cca 75 %) v období letnom.

Ročný úhrn globálneho slnečného žiarenia je hlavným parametrom pre návrh a výpočty energetickej bilancie fotovoltaiického systému.[1]



Obr. 2 Ročný úhrn globálneho slnečného žiarenia v ČR [2]

2. Základný popis a princíp fotovoltaiických článkov

2.1 Fotovoltaiický článok

Fotovoltaiický článok alebo tiež článok solárny je veľkoplošná dióda s jedným PN prechodom. Pre výrobu FV článku sa najviac využíva kremík z dôvodu veľmi vysokej účinnosti generácie voľných nosičov kvôli dopadajúcemu slnečnému žiareniu. Strana orientovaná k slnečnému žiareniu je záporne dotovaná fosforom a spodná vrstva je kladne dotovaná bórom. Pre FV článok je požiadavka, aby pohltil čo najviac fotónov, preto sa na povrch článku nanáša antireflexná vrstva (sklenená fólia) z dôvodu zamedzenia odrazu svetla.[1]



Obr. 3 Popis fotovoltaiického článku [3]

2.1.1 Princíp funkcie fotovoltaiického článku

Základným princípom fotovoltaiického článku je fotoelektrický jav, pri ktorom sú elektróny uvoľňované z látky z dôvodu absorpcie elektromagnetického žiarenia látkou. Absorpcia je spôsobená interakciou svetla (fotóny) s časticami hmoty (elektróny a jadrá) a môžu nastať tieto prípady:

- interakcia častice s mriežkou → využitie nízkoenergetických fotónov
- interakcia s voľnými elektrónmi → dochádza len ku zvýšeniu teploty
- interakcia s viazanými elektrónmi → vznikajú voľné nosiče náboja

Pre funkciu FV článku je zásadné, aby fotón zo slnečného žiarenia uvoľnil v látke elektrón a vznikol pár elektrón – diera. V kovoch však dôjde k ich okamžitej rekombinácii, ktorej treba zabrániť a vzniknutý náboj teda odvieť z článku. Pre tento účel sa využívajú polovodiče, v ktorých sú elektróny a diery separované vnútorným elektrickým poľom PN prechodu.[1]

Najjednoduchší fotovoltaický článok môžeme teda popísať ako veľkoplošnú diódu s jedným PN prechodom. Aby mohla fotovoltaická premena prebiehať, musia byť splnené nasledujúce podmienky:

- fotón musí byť pohltitý
- fotón musí excitovať elektrón do vyššieho vodivostného pásu
- vzniknutá dvojica elektrón a diera musí byť separovaná (aby sa znova nespojila)
- oddelené náboje sú následne odvedené k spotrebiču[1]

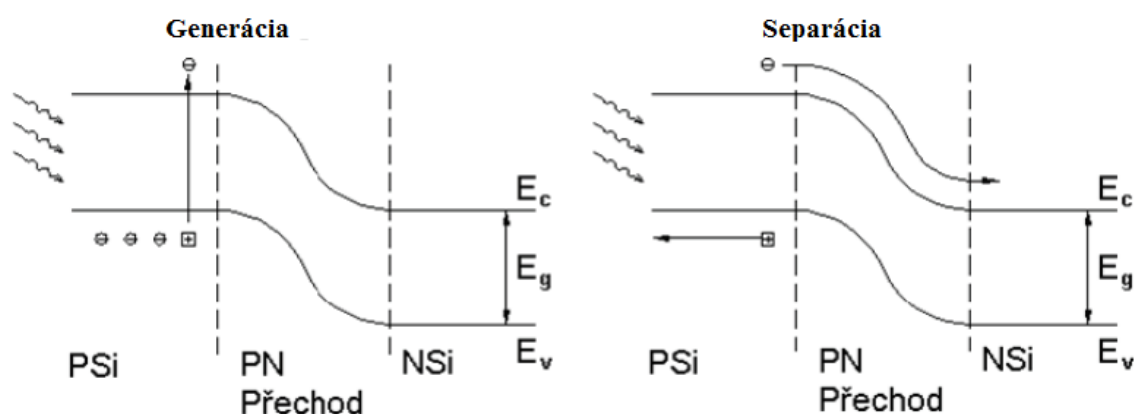
2.1.2 Fotoelektrický jav

Albert Einstein (1879 – 1955) v roku 1905 uviedol teóriu, podľa ktorej energia nie je v elektromagnetickom vlnení rozložená spojito, ale elektromagnetické vlnenie je tok kvánt, ktoré sú samostatnými fyzikálnymi objektami. Tieto kvantá elektromagnetického žiarenia sa nazývajú fotóny.

Fotoelektrický jav je uvoľňovanie elektrónov vo vnútri látky alebo z jej povrchu účinkom elektromagnetického vlnenia. Fotoelektrický jav existuje v dvoch formách:

1. vonkajší fotoelektrický jav – elektrón opustí látku účinkom elektromagnetického dopadajúceho vlnenia
2. vnútorný fotoelektrický jav – elektrón sa uvoľní z väzby, ale zostane v látke účinkom elektromagnetického dopadajúceho vlnenia[4]

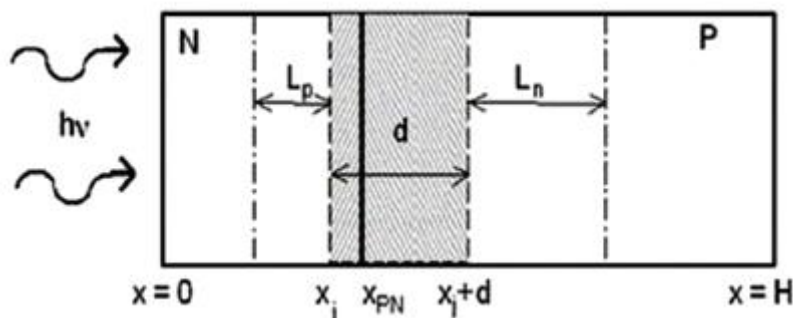
Fotoelektrický jav existuje v kvapalinách, plynch a tuhých látkach, ale prevažne o ňom hovoríme v súvislosti s polovodičmi, pretože sa pri nich dosahujú vhodné účinnosti na energetickú premenu. Absorpciou dopadajúceho žiarenia sa vytvoria v polovodiči záporné a kladné nosiče náboja. Je nevyhnutné, aby žiarenie malo určitú energiu, ktorej veľkosť závisí od druhu polovodičového materiálu. Je zároveň potrebné, aby absorpčný polovodičový materiál mal určitú hrúbku, ktorá tak isto závisí od druhu použitého materiálu. Osobitne výhodné pre slnečnú energetiku budú materiály, ktoré už aj pri malých hrúbkach sú schopné zachytiť žiarenie a vytvoriť elektrónovo - dierový pár. Aby nenastala spätná rekombinácia vytvorených nosičov náboja, musia sa od seba oddeliť vytvorením p-n priechodu. Potenciálová bariéra p-n priechodu zabráni rekombinácii elektrónov a dier.[1]



PSi – polovodičový křemík typu P, NSi – polovodičový křemík typu N, E_c – energie vodivostního pásu, E_v – energie valenčního pásu

Obr. 4 Princíp priamej premeny energie slnečného žiarenia na elektrickú s využitím fotoelektrického javu[4]

V slnkom ožiarenej oblasti PN prechodu sú generované nosiče, ktoré následne difundujú smerom k PN prechodu. Hustota prúdu (J_{PV}) je tvorená nosičmi, ktoré boli zachytené v oblasti priestorového náboja (rovnica 1.1). Hustota prúdu pre jednotlivé oblasti PN prechodu je definovaná v rovniciach 2.2 – 3.3. Nosiče, generované mimo miesta prechodu PN musia k oblasti so silným elektrickým poľom difundovať. Ak zrekombinujú skôr, než dosiahnu oblasť prechodu PN, neuplatní sa pri generácii fotovoltaiického napätia.[4]



Obr. 5 Princíp fotovoltaiického javu[4]

$$J_{PV}(\lambda) = J_{PVN}(\lambda) + J_{PVP}(\lambda) + J_{OPN}(\lambda)$$

Pre oblasť typu N platí rovnica:

$$J_{PVN}(\lambda) = q \int_0^{x_j} G(\lambda) dx - q \int_0^{x_j} \frac{\Delta p}{\tau_p} dx - J_{sr}(0),$$

Pre oblasť typu P platí rovnica:

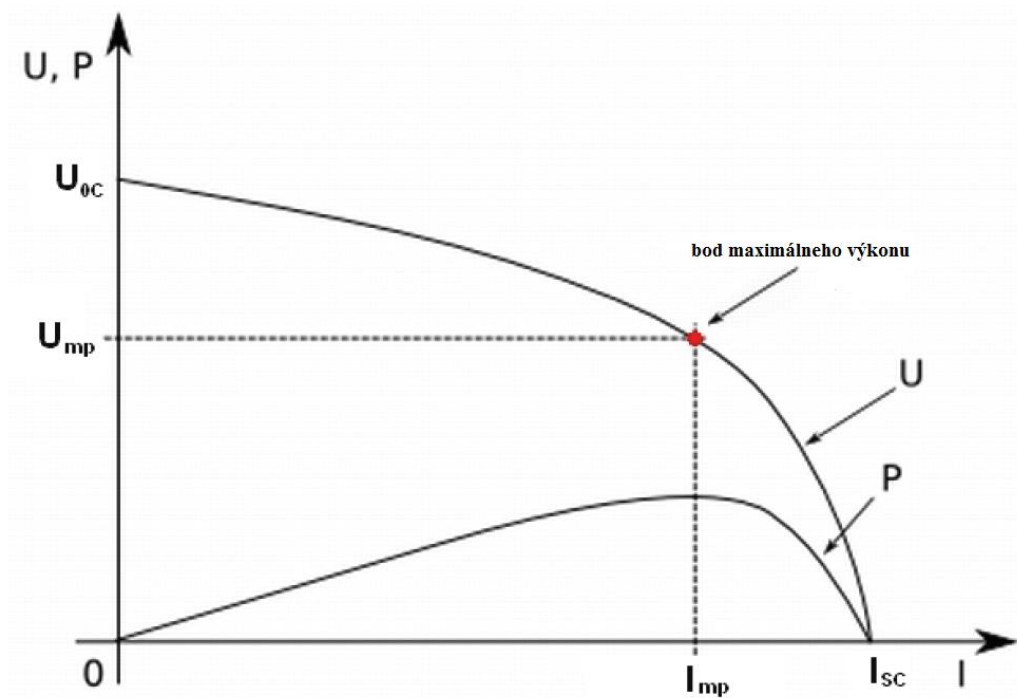
$$J_{PVP}(\lambda) = q \int_{x_j+d}^H G(\lambda) dx - q \int_{x_j+d}^H \frac{\Delta n}{\tau_p} dx - J_{sr}(H)$$

Pre oblasť priestorového náboja prechodu PN platí:

$$J_{OPN}(\lambda) \approx q \int_{x_j}^{x_j+d_j} G(\lambda) dx$$

2.1.3 Volt-Ampérová charakteristika FV článku

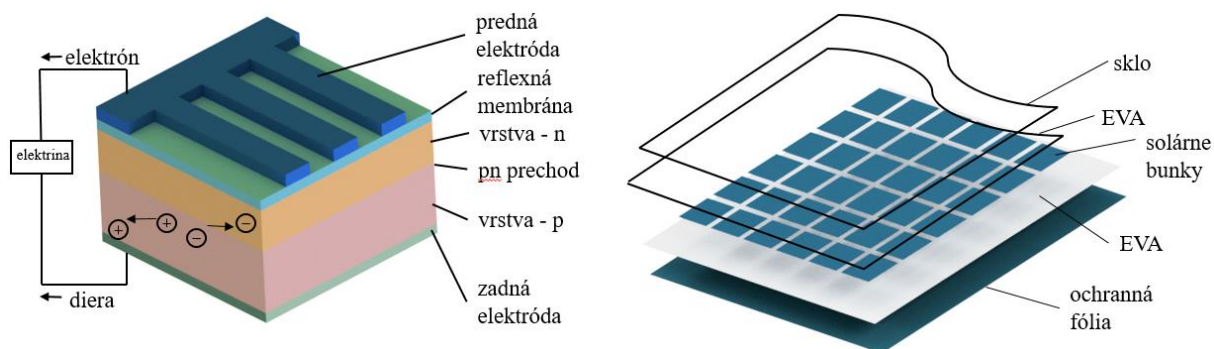
Volt-Ampérová charakteristika je základnou informáciou činnosti fotovoltaiického článku. Na Volt-Ampérovej charakteristike predstavujú hraničné veličiny prúd nakrátko (I_{sc}) a napätie naprázdno (U_{oc}). Prúd nakrátko predstavuje maximálny prúd (skratový prúd), ktorý môže solárny článok pri danej intenzite slnečného žiarenia dodávať. Napätie naprázdno predstavuje maximálne napätie na článku, ktoré je možné dosiahnuť v prípade, že žiadny spotrebič k nemu nie je pripojený.[1]



Obr. 6 Zaťažovacia a výkonová charakteristika FV článku[1]

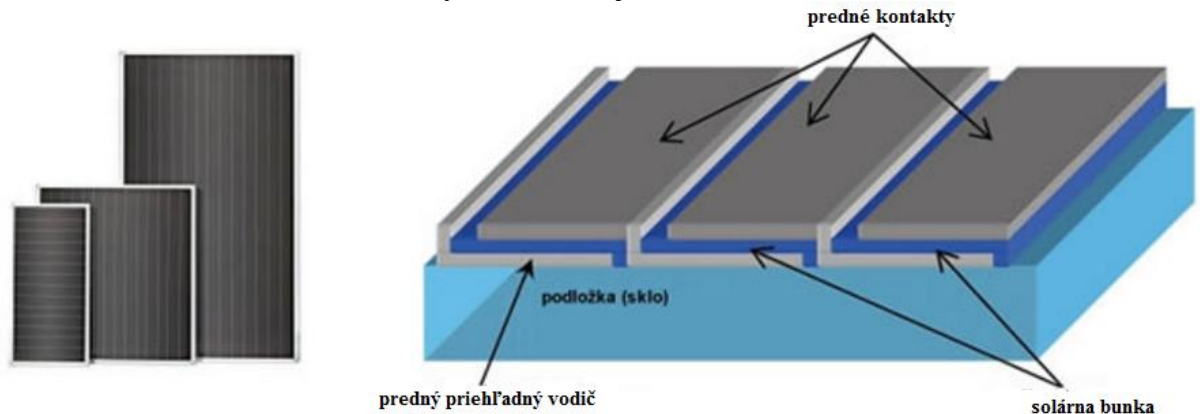
2.2 Rozdelenie FV článkov podľa technológie

- **technológia hrubých vrstiev** – článok je tvorený veľkoplošnou polovodičovou diódou z monokryštalického alebo polykryštalického kremíka. Väčšina fotovoltaičských článkov je vyrobená touto technológiou na trhu (85 %).[5]



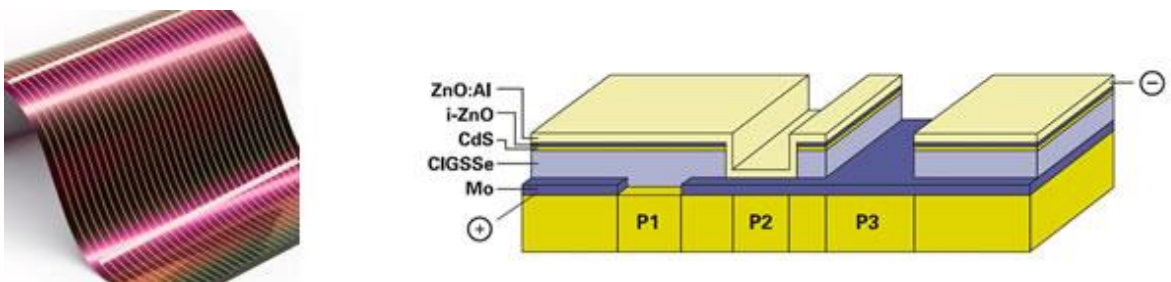
Obr. 7 Technológia hrubých vrstiev[5]

- **Technológia tenkých vrstiev** – na nosnú plochu článku sú aplikované tenké vrstvy mikrokryštalického alebo amorfneho kremíku. Tieto články sú lacnejšie z dôvodu menšieho množstva materiálu na výrobu, ale majú nižšiu životnosť a účinnosť.[5]



Obr. 8 Technológia tenkých vrstiev [5]

- **Nekremíková technológia** – pracujú s organickými zlúčeninami alebo polymermi, teda nie je použitý PN prechod. Tieto technológie sú väčšinou v štádiu výskumu.[5]



Obr. 9 Nekremíková technológia [5]

2.3 Rozdelenie FV článkov podľa generácií

Z hľadiska dlhodobého vývoja sa fotovoltaické články delia nasledovne:[6]

- **Prvá generácia** – základom FV článkov sú kremíkové dosky. Sú dnes najrozšírenejšie a dosahujú dobré účinnosti premeny energie (16 až 19 %). Predávať sa začali komerčne už v sedemdesiatych rokoch. Predpokladá sa, že sa budú predávať aj ďalšie roky, napriek tomu, že ich výroba je relatívne drahá (drahý kryštalický kremík).
- **Druhá generácia** – dôvodom ďalšieho vyvíjania článkov bola predovšetkým snaha o zníženie výrobných nákladov a úspory drahého základného materiálu – kremíka. Články druhej generácie sa vyznačujú 100-krát až 1000-krát tenšou absorbujúcou polovodičovou vrstvou, napr. články z amorfneho a monokryštalického kremíka, silikón-germánie, silikón-karbidu. Výrobné náklady sa podarilo znížiť, avšak dosahovaná účinnosť bola nižšia (všeobecne pod 10 %). Komerčne sa začali články druhej generácie predávať v polovici osemdesiatych rokov.

-
- **Tretia generácia** – hlavným cieľom článkov tretej generácie je snaha o dosiahnutie čo najväčšieho počtu absorbovaných fotónov a následne generovaných párov elektrón – diera a tak isto aj o maximalizáciu využitia energie dopadajúcich fotónov (napäťový zisk FV článkov). Výskum sa zaoberá viacerými smermi a jedným z nich sú viacvrstvové štruktúry článku, pri ktorých každá vrstva absorbuje určitú časť spektra a teda maximalizuje sa energetická využiteľnosť fotónov. Pri týchto článkoch možno dosiahnuť účinnosť viac ako 40 %.
 - **Štvrtá generácia** – ako posledným vývojovým stupňom rozumieme viacvrstvové profily, ktoré na 100 % využívajú dopadajúce slnečné spektrum. V princípe sa profily vrstvia tak, aby boli nastavené na rôzne vlnové dĺžky, pretože sa žiarenie často mení. Vrstva, ktorá nedokáže využiť slnečné žiarenie o istej vlnovej dĺžke, prepúšťa ho k vrstve, ktorá ho vie vhodne využiť.

3. Prvky fotovoltaického ostrovného systému

Fotovoltaický systém reprezentuje transformáciu a transport slnečnej energie až na využiteľnú elektrickú energiu.

Zdrojom elektrickej energie je fotovoltaický panel, ktorý cez solárny regulátor dodáva energiu do akumulátorov. Energia odobraná z batérií sa využije pre napájanie DC spotrebičov na malé napätie a ďalej je premenená na fázové napätie pre AC spotrebiče.

Existujú rôzne kombinácie návrhu solárneho systému, medzi nich patria zapojenia tzv. grid-tied, grid-off a systémy hybridné.

Grid-tied : fotovoltaický systém, ktorý je podporovaný elektrickou energiou z verejnej siete, neobsahuje elektrocentrálu a väčšinou ani akumulátory. Jedná sa o priamu dodávku energie zo solárnych panelov a z verejnej siete.

Grid-off : fotovoltaický systém, ktorý produkuje elektrickú energiu zo solárnych panelov, ktoré sú dopĺňané elektrocentrálou. Tento systém je nezávislý od verejnej siete. Elektrocentrála býva najčastejšie ako dieslový generátor alebo plynový agregát.

Hybridný systém : fotovoltaický systém, ktorý obsahuje solárne panely, elektrocentrálu, batérie a je podporovaný verejnou sieťou. V hybridnom systéme sú obsiahnuté všetky prvky, ktoré môžu byť zdrojom elektrickej energie.[XXX]

3.1 Fotovoltaické panely

Solárny panel je zariadenie, ktoré získava energiu zo slnka (svetla). Obsahuje veľké množstvo fotovoltaických článkov, ktoré premieňajú slnečnú energiu na elektrinu.

Trh ponúka 3 typy panelov, ktoré sú vhodné pre menšie a stredné inštalácie. Každý typ má určité výhody a nevýhody. V cenách sa jednotlivé panely výrazne nelíšia.[7]

3.1.1 Polykryštalické panely

Vhodné lokalizovať inštaláciu, kde nie je možné nasmerovať panely ideálne a kde intenzita slnečného žiarenia je premenlivá vplyvom meteorologických podmienok. Pri ideálnom nasmerovaní je to najvýhodnejšie, avšak s nižšou účinnosťou ako s panelmi monokryštalických.[7]

Výhody:

- Spracovávajú rozptýlené žiarenie s vysokou efektívnosťou, výhodou je dodávanie väčšieho výkonu ako monokryštalické panely pri zlých meteorologických podmienkach.[L]

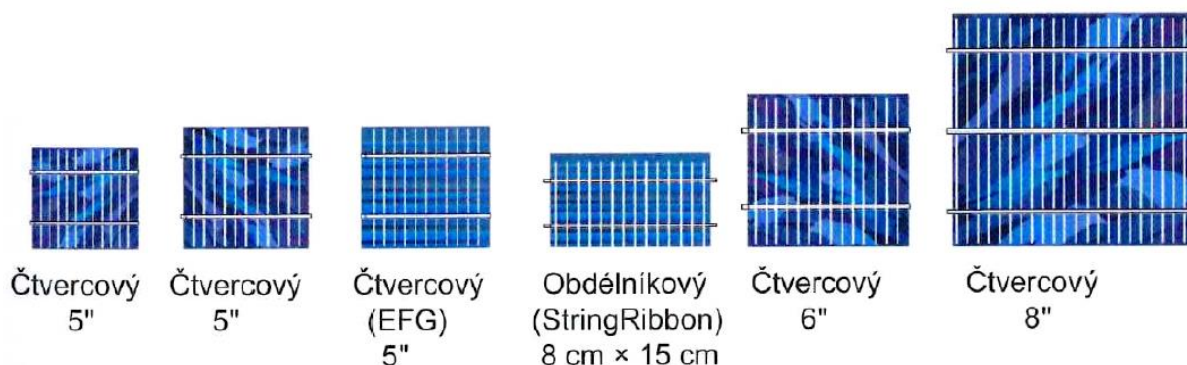
Nevýhody:

- Nízka účinnosť pri priamom žiarení (10 – 14 %)
- Rýchlejšie klesanie účinnosti v čase ako pri monokryštalických paneloch
- So znižujúcou sa teplotou klesá účinnosť[L]



Obr. 5 Polykryštalický panel [7]

Polykryštalické články sú číro modré a majú kryštalickú štruktúru. Geometricky tvoria štvorec s najčastejšími rozmermi 10, 12,5, 15,6 a 21 cm.



Obr. 11 Používané tvary polykryštalických FV článkov [6]

3.1.2 Monokryštalické panely

Pri nasmerovaní priamo k slnku majú najväčšiu účinnosť zo všetkých typov panelov. Pri menšej intenzite slnečného žiarenia však ich výkon rapídne klesá, na rozdiel od druhých dvoch typov.[7]

Výhody:

- Vyššia účinnosť pri priamom ožiarení (13 – 17 %) [L]

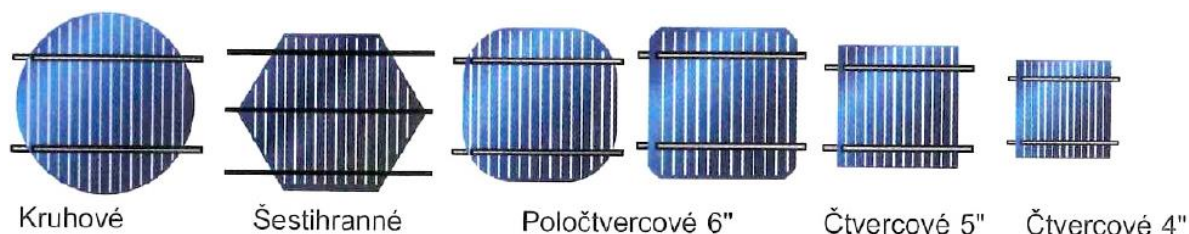
Nevýhody:

- Nízky výkon pri nízkej intenzite svetla
- Neschopnosť účinného spracovania rozptýleného žiarenia
- So znižujúcou sa teplotou klesá účinnosť [L]



Obr. 6 Monokryštalický panel [7]

Monokryštalické články sa skladajú z jedného kryštálu. Ich tvar je zvyčajne štvorcový a ich farba je sýto modrá alebo čierna. Dĺžka strany štvorca je 5, 10, 12 alebo 15 cm. Vyrábajú sa aj články šesťhranné z dôvodu zníženia spotreby materiálu.[7]



Obr. 13 Používané tvary monokryštalických FV článkov [7]

3.1.3 Amorfné panely

Dokážu spracovať rozptýlené žiarenie rovnako ako polykryštalické panely.[7]

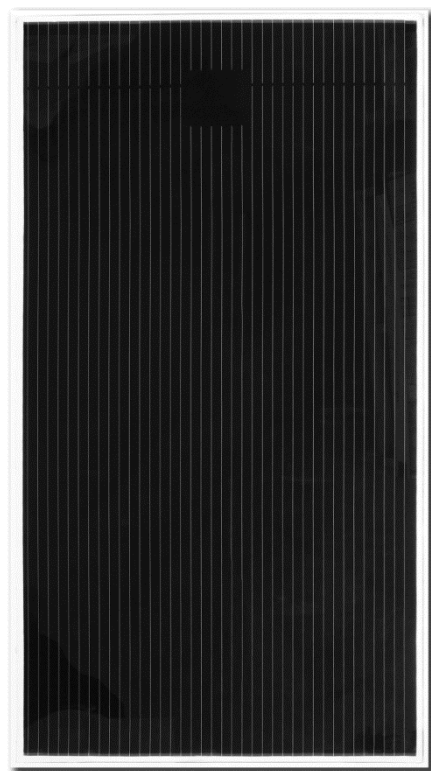
Cena:

Výhody:

- Dokážu spracovať rozptýlené žiarenie

Nevýhody:

- Nízka účinnosť (8 – 9 %)
- Nižšia životnosť
- Väčšie rozmery



3.1.4 Životnosť FV panelov

Obr. 6 Amorfný panel [7]

Životnosť fotovoltaiických panelov je v súčasnosti odhadovaná na minimálne 30 rokov, niekedy môže byť aj dvojnásobná. Definícia životnosti je vyjadrená poklesom výkonu o 20 %. Väčšina výrobcov garantujú maximálny pokles účinnosti o 10 % za 10 alebo 12 rokov a 20 % za 25 rokov. Dnes sa ukazuje, že pokles účinnosti po 25 rokoch je okolo 6 až 8 % a teda skutočná životnosť bude výrazne dlhšia.

Pri kvalitných panelov sa pokles účinnosti o 20 % bude minimálne 30 až 40 rokov od ich inštalácie. Panely sú funkčné aj po tejto dobe, len ich účinnosť bude klesať. Preto sa vyskytuje dilema, či je lepšie vyrábať elektrinu s nižšiu účinnosťou alebo investovať do nových panelov.[8]

3.1.5 Údržba FV panelov

Všeobecná mienka hovorí o tom, že FV panely sú bezúdržbové, avšak správne tvrdenie je také, že sú nízkoúdržbové. Údržba spočíva hlavne v mechanickom čistení panelov a odpratávanie snehu. Pri paneloch, ktoré nie sú čistené dochádza k poklesu výkonu až o 13,5 % ročne. Na účinné očistenie panelov od prachu a pod. stačí občasné opláchnutie vodou pod tlakom.

Ak napadne vrstva snehu, tak sa zvyčajne dlho na paneli neudrží a sklíže po povrchu dole a odkryje hornú časť. Akonáhle zasvieti slnko, panely sa zahrejú a zbytok zide dole. Ak napadne väčšie množstvo snehu pri chladnom počasí, používa sa gumová stierka k odstráneniu snehu (nie námrazy!). [9]

3.2 Solárne regulátory

Pri priamom pripojení solárnych panelov na batérie vzniká rad problémov. Preto je nutná inštalácia regulátora, ktorý optimálne reguluje a nastaví nabíjací prúd a napätie a zároveň aj zabezpečuje ich ochranu.

Trh ponúka dva druhy takýchto zariadení, ktorú majú za úlohu riadenie procesu nabíjania a riadenie odberu výkonu z panelov. Sú to solárny regulátor PWM (pulse-width modulation) a menič MPPT (maximum power point tracking).[10]

3.2.1 PWM regulátor

Ide o impulzovú šírkovú moduláciu, ktorá je modifikáciou periodického signálu zmenou šírky impulzu v závislosti od vstupnej veličiny. Vykonáva sa predovšetkým za účelom vysoko efektívnej regulácie elektrického výkonu. Vysoká účinnosť je dosahovaná tak, že regulátor je v ideálnom prípade vždy úplne uzavretý alebo úplne otvorený. Nevznikajú preto tepelné straty v dôsledku úbytku napätia na regulačnom prvku s odporom (rezistor, polovodičový prechod), na rozdiel od regulátorov spojitých. Medzi nevýhody využitia tohto regulátoru patria predovšetkým ich zložité zapojenie, vyššie nároky na jednotlivé súčiastky (napr. spínacie prvky), vznik vysokofrekvenčného rušenia.

Hlavnou funkciou je stabilizácia napätia od panelov pre ideálne a bezpečné nabíjanie batérií. Obvody v PWM regulátore regulujú proces nabíjania, kontrolujú pod hraničnú hodnotu napätia na paneloch, prerušujú elektrický prúd pri plnom nabití batérií. Ochránujú systém pred skratom, ochrana pred prepólovaním, zabraňujú hlboké vybite a zabezpečujú ochranu pred spätným prúdom z panelov.

PWM regulátor má výhodu nízkych kúpnych nákladov, ale trpí malými rozsahmi napájacích napätí a nedokáže pracovať dostatočne efektívne pri malých výkonoch panelov oproti výkonu menovitému. [11]

3.2.2 MPPT menič

MPPT menič (monitorovanie maximálneho pracovného bodu) taktiež plní úlohu solárneho regulátoru ale s viacerými výhodami. Menič nabíja batérie efektívnejšie ako PWM regulátor, pretože má vstavaný vysokofrekvenčný DC/DC menič, ktorý dokáže zmeniť vstupné rovnako smerné napätie na vysokofrekvenčné striedavé napätie, toto napätie transformuje a opäť zmení na rovnako smerné napätí, ale s inou, než vstupné veľkosti (pri čom sa mení aj hodnota prúdu). Dokáže spracovať veľký rozsah napätí a premeniť ho na požadované napätie batérií.

Zásadnou výhodou kvalitného MPPT meniča oproti solárnemu regulátoru PWM, je možnosť využitia solárnych panelov s napätím napríklad aj 150V (sériovo spojené solárne panely), s tým, že MPPT menič je schopný aj pri ďaleko vyšších napätiach, než je napätie pripojených akumulátorov (batérií) veľmi efektívne spracovať výkon z týchto panelov, bez toho by dochádzalo k vyšším stratám v systéme. Toho nie je solárny regulátor schopný dosiahnuť.[10]

4. Batérie

4.1 Akumulácia energie

4.1.1 Dôvody akumulácie elektrickej energie

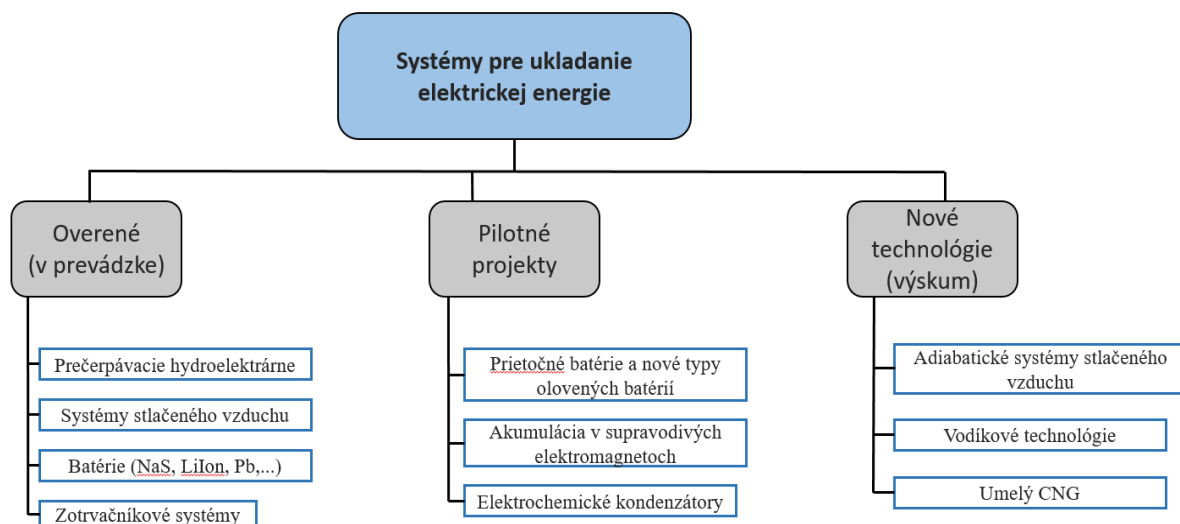
Akumulácia energie je proces, kde sa v priebehu času určitý druh energie ukladá za účelom jeho využitia na vykonávanie užitočnej práce v budúcnosti. V princípe to môžu byť všetky využiteľné formy energie (napr. chemická, gravitačná, elektrická, tepelná).

Dôvody pre akumuláciu a uskladňovanie energie spočíva v zásade v dvoch prípadoch. V prvom prípade je k dispozícii zdroj energie, ktorý ale nemá dostatočný výkon na pokrývanie energetických nárokov určitého procesu. Iným prípadom je, keď odberateľ nemá k dispozícii také množstvo energie, ktoré vyžaduje.[1]

4.1.2 Systémy akumulácie elektrickej energie

Systémy akumulácie elektrickej energie sa postupne stávajú dôležitým prvkom distribučných sietí, pričom najväčší počet inštalácií v súčasnosti je v Severnej Amerike. V Európe prvé batériové systémy sa uviedli do prevádzky vo Švajčiarsku a v Anglicku. Ďalšie projekty sa chystajú s finančnou podporou vlád krajín európskej únie.

Pre potrebu špičkových alebo zálohových odberov je možno vytvoriť relatívne veľké úložiská elektrickej energie vzhľadom k vhodne zvoleným technickým a ekonomickým podmienkam. Prehľad systémov pre ukladanie elektrickej energie je na obr. 7.[1]



Obr. 7 Možnosti ukladania elektrickej energie [13]

4.1.3 Princípy uchovania elektrickej energie

Chemický princíp uchovania energie

Pb akumulátory

Olovené akumulátory spolu s ďalej uvedenými nikelamidovými akumulátormi medzi najznámejšie, najstaršie a najviac rozšírené akumulátory. Sú oblasti, kde olovené a alkalické akumulátory sú nenahraditeľné. Oproti Li-ion majú výhodu odolnosti voči nízkym teplotám, vyššiu bezpečnosť a nižšiu cenu.

Elektrody olovených batérií tvorí Pb a PbO, ktoré pri vybíjaní reagujú s elektrolytom (kyselina sírová) za vzniku PbSO₄ na oboch elektródach. Svorkové napätie je 2 V jedného oloveného článku. Využívajú sa ako batérie v automobiloch a pri krátkodobom zálohovaní energie.

NiCd akumulátory

Princíp spočíva v chemickej reakcii, kde kladná elektróda alkalického akumulátoru v nabitom stave tvorená oxo-hydroxidom nikelnatým NiO(OH), ktorá pri vybíjaní prechádza na hydroxid nikelnatý. Záporná kadmiová elektróda pri vybíjaní reaguje s kyslíkom za vzniku CdO. Elektrolytom je rozpustený hydroxid draselný vo vode. Napätie jedného článku je 1,2 V. NiCd batérie možno použiť pre krátkodobú zálohu.

Li-ion akumulátory

Katóda Li-ion akumulátoru tvorí oxid kovu (LiCoO₂), anóda je z uhlíku s vrstevnatou štruktúrou. Elektrolyt tvorí lithiová soľ (LiPF₆) rozpustená v organickom karbonáte. Pri nabíjaní ionty interkalujú (interakcia s nukleovou kyselinou) do vrstevnatej štruktúry uhlíkovej elektródy. Li-ion akumulátory majú veľkú hustotu energie a vysokú účinnosť s menovitým napätím 3,6 V. nedostatkom je vysoká cena a škodlivosť hlbšieho vybíjania, kedy sa po čase znižuje životnosť batérie. Li-ion akumulátory sa používajú v prenosných zariadeniach pre krátkodobé zálohovanie.

Prietokové batérie

Prietokové batérie sa skladajú z dvoch rezervoárov naplnených elektrolytom prúdiacim elektrochemickým článkom. Hustota energie závisí na množstve elektrolytu v rezervoároch, zatiaľ čo hustota výkonu je ovplyvnená chemickými reakciami prebiehajúcich na elektródach. Účinnosť týchto batérií je od 75 % do 85 %. Napätie na článku závisí na použiteľnom elektrolyte a pohybuje sa v rozmedzí od 1,4 V do 1,8 V. Relatívne nový typ CeZn (cér-zinok) dosahuje napätie 2 V. Svojou vysokou kapacitou sú prietokové batérie vhodné na dlhodobé zálohovanie.

Superkondenzátory

Superkondenzátory vynikajú svojou schopnosťou prijať veľké množstvo elektrického náboja v priebehu pár sekúnd. Princíp uchovania náboja je na hranici medzi batériami a klasickými kondenzátormi. Elektrický náboj nie je uchovávaný chemicky, ale fyzikálne – elektrostatickou silou na povrchu elektród. Svojou konštrukciou a elektrolytom je superkondenzátor blízky akumulátorom. Elektródy sú tvorené uhlíkom so špecifickým povrchom. Elektrolyt môže byť na vodnej báze či tvorený bezvodným organickým rozpúšťadlom. Svorkové napätie sa pohybuje v rozmedzí od 1 do 1,2 V vo vodnom a 2,5 – 3 V v organickom elektrolyte. Nevýhodou superkondenzátoru je ich samovybíjanie, na druhú stranu majú vysokú cyklovateľnosť.

Fyzikálny princíp uchovania energie

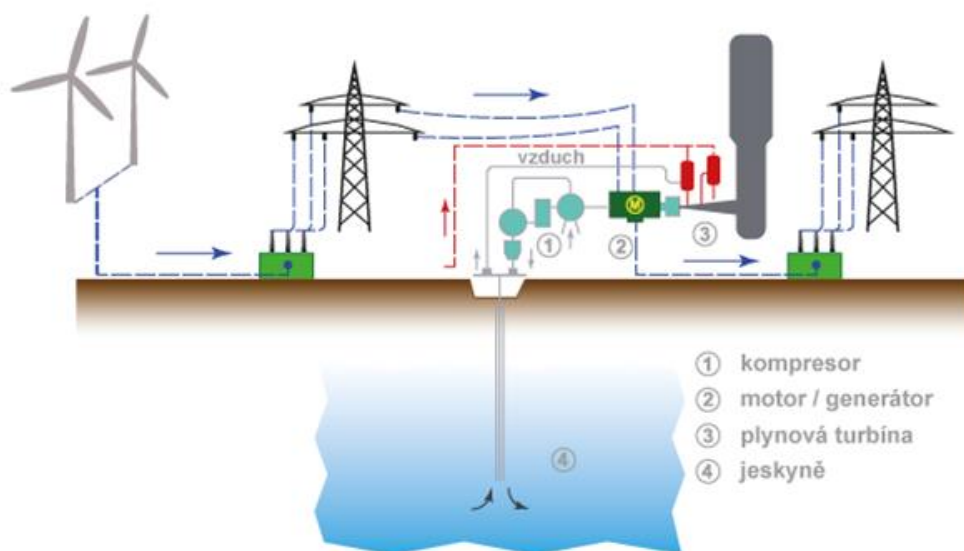
Zotrvačníky

Zotrvačníky ukládajú energiu do kinetickej energie do otáčajúcej sa hmoty rotoru. Podľa otáčok za minútu môžeme rozdeliť zotrvačníky na vysokootáčkové a nízkootáčkové. Množstvo energie takto uložené je úmerné momentu zotrvačnosti a štvorcu jeho uhlovej rýchlosti.

Materiály s nízkou hustotou umožňujú vyššiu rýchlosť, a teda môžu využiť viac energie na jednotku hmotnosti a objemu. Vysokootáčkové zotrvačníky majú rotory vyrobené z plastov vystužených vláknami a vydržia rýchlosť viac ako 100 000 otáčok za minútu. Nízkootáčkové zotrvačníky majú rotory z oceli s rýchlosťou 10 000 otáčok za minútu.

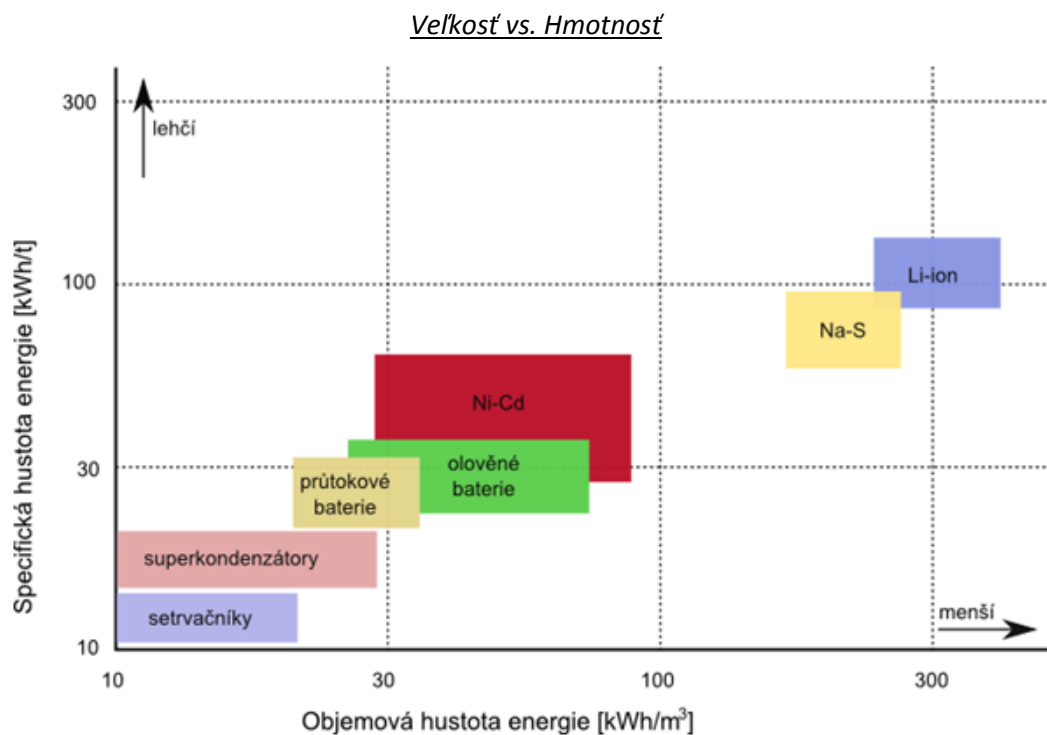
Prečerpávacie vodné elektrárne a akumulácia energie založená na stlačenom vzduchu

Tieto dve menované sú schopné dodávať veľké množstvo energie po relatívne dlhú dobu (rádovo hodín). Na rozdiel od statných spôsobov akumulácie je nábehový čas desiatky sekúnd až minút.

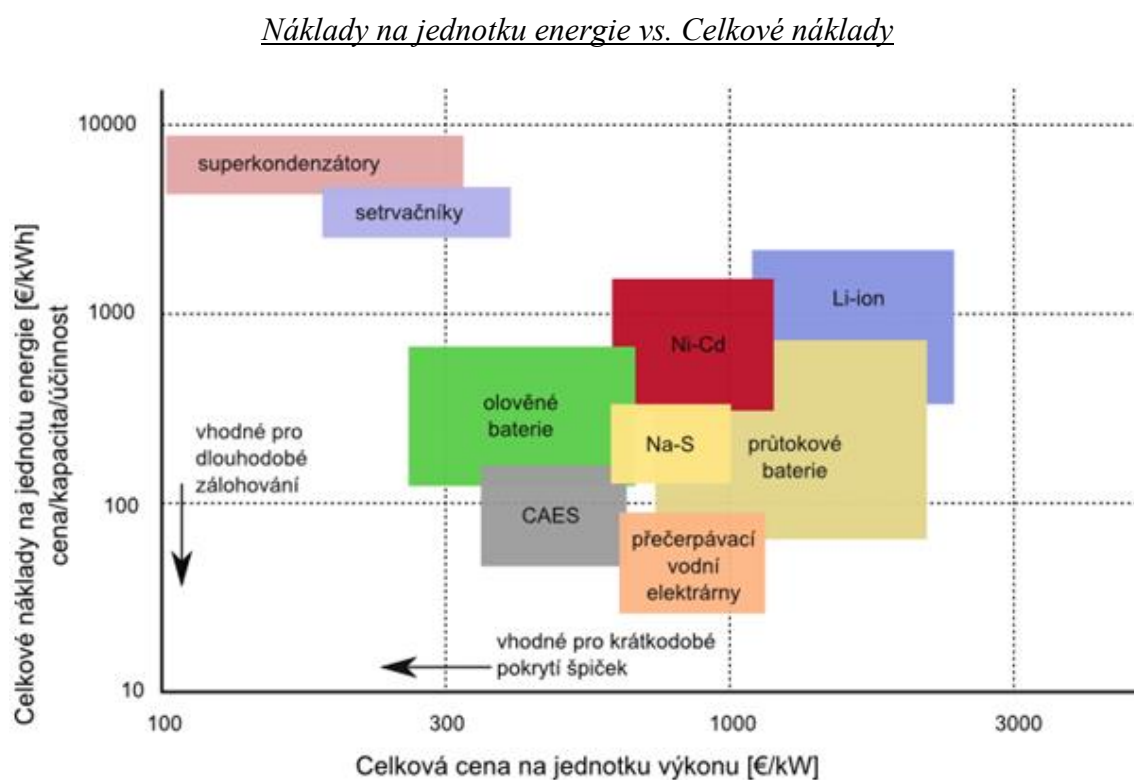


Obr. 8 Schematické znázornenie systému využitia stlačeného vzduchu [12]

4.1.4 Porovnanie vlastností batérií



Obr. 9 Špecifická hustota energie v závislosti na objemovej hustote energie[12]



Obr. 10 Porovnanie nákladov [12]

4.2 Batériové systémy

Batéria je zariadenie určené k úschove elektrickej energie. Patrí medzi základné prvky elektronických zariadení. Používajú sa takmer vo všetkých prenosných elektronických zariadeniach od hodínok, mobilných telefónov až po prenosné počítače. Každé takéto zariadenie priamo závislé na elektrickej energii by bez nej nemohlo fungovať. S prudkým nástupom požiadaviek na uchovávanie elektrickej energie stúpa úloha batérií, čo má dnes za následok rýchly technologický rozvoj.[1]

4.2.1 Skladanie článkov – batérií

V dnešnej dobe môžeme využívané články rozdeliť do dvoch základných skupín:

- primárne články,
- sekundárne články.

Primárne články sú tvorené článkami galvanickými, ktoré sa nedajú nabiť opätovne. Sú to zdroje rovnakosmerného napätia a prúdu. Sekundárne články sú článkami akumuláčnymi, ktoré zahrňujú všetky chemické zdroje a môžu byť nabíjané a vybíjané opakovateľne. Sekundárne články z ekonomického hľadiska poskytujú ďaleko viac energie než články primárne kvôli ich funkčnému princípu – elektrina v článkoch primárnych vzniká chemickou reakciou, ktorá je nevratná, naproti tomu v sekundárnych článkoch ako bolo spomenuté sa elektrina uchováva. Články sú zapojované paralelne alebo sériovo vrátane ich kombinácií, pretože elektromotorické napätia jednotlivých článkov sú nízke. Súbor týchto článkov môžeme nazvať akumulátorovou batériou.[1]

4.2.2 Najčastejšie typy sekundárnych článkov

Nižšie sú uvedené skratky a názvy najčastejších typov sekundárnych článkov.

LiFePo4	Lithium-železo-fosfátový akumulátor
LiFeYPO4	Lithium-železo-fosfátový akumulátor (Fe obohatený o Yttrium)
NaS	Sodium-sulfur battery – Sodíkovo sírový akumulátor
PbA	Lead-Acid-olovený akumulátor
Pb flooded	Lead-Acid-olovený akumulátor – zapltená konštrukcia
Pb AGm	Lead-Acid-olovený akumulátor – elektrolyt v separátore
NiCd	Nikel-kadmiový akumulátor
NiMH	Nikel-Metal hydridový akumulátor
VRB	Vanadium Redox Battery – Vanadová redoxná batéria
ZnBr	Zinc-Bromide Battery – Inko-bromidový akumulátor
PSB	Polysulfide-Bromide Battery – Polysulfidová Bromová Batéria

Pre rôzne požadované výkonové aplikácie sú vhodné rôzne typy sekundárnych článkov. Pre akumuláciu elektriny z fotovoltaických elektrární sú v praxi používané najčastejšie olovené akumulátory a výhodný systém LiFePO₄. [14]

Výber vhodných akumulátorov bude predmetom ďalších kapitol práce.

4.2.3 Parametre akumulátorov

Základnými parametrami, ktoré definujú akumulátor sú:

- Hustota energie [Wh/kg]
- Energetická účinnosť nabíjacieho/vybíjacieho cyklu[%]
- Životnosť v rokoch [rok]
- Životnosť v počte nabíjacích/vybíjacích cyklov
- Samovybíjanie [%/mesiac]
- Maximálny výkon [W]
- Rozsah pracovných teplôt [°C]
- Kapacita [Ah]
- Rýchlosť nabíjania [hod]
- Možnosť recyklácie [-]
- Investičné náklady [Kč/(V.Ah)]
- Dodatočné náklady [Kč]

Pri rozhodovaní sa o kúpe akumulátora sú požiadavky často fyzikálne-ekonomicky protichodné. Ideálny akumulátor by mal mať vysokú účinnosť nabíjacieho cyklu, vysokú hustotu energie, nízke investičné náklady, vysokú časovú a cyklickú životnosť, schopnosť rýchleho nabíjania, nízke samovybíjanie a vysoký rozsah pracovných teplôt. [14]

5.2.4 Porovnanie jednotlivých akumulátorov

Základné špecifikácie porovnávaných akumulátorov sú uvedené v Tab.2.

Typ akumulátoru	Ni-Cd	Ni-MH	LiFePO ₄	Pb startovací	Pb staničný
Reálna hustota energie [Wh/kg]	45–80	60–120	90–120	30–50	30–50
Napätie článku [V]	1,2	1,2	3,3	2,1	2,1
Počet cyklov [-]	1500	300–500	> 2000	400–500	600 +
Životnosť [rok]	5 +	3–4	10 +	5 +	10 +
Doba nabíjania [h]	1–2	2–4	0,5–4	8–16	8–16
Samovybíjanie [%/mesiac]	20	30	5–10	20	5

Tab.2 Porovnanie vlastností najčastejšie využívaných sekundárnych článkov [14]

4.2.5 Energetická účinnosť akumulátorov

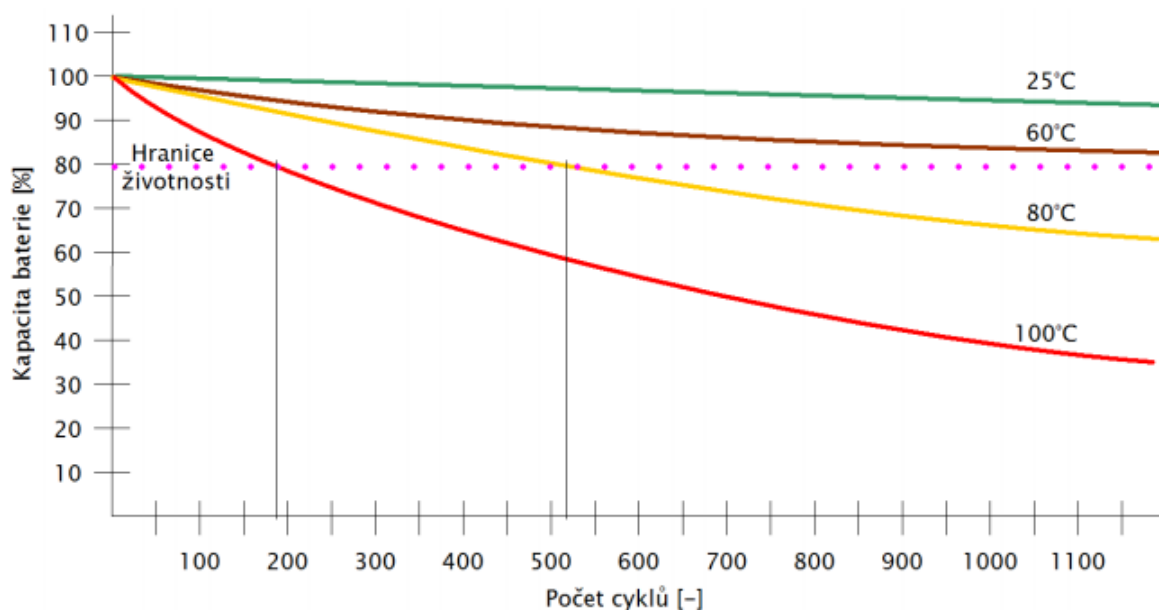
Energetická účinnosť procesu je zásadným faktorom pri určovaní celkovej účinnosti systému, ktorého je akumulátor súčasťou. Energetická účinnosť je závislá na elektrochemickej účinnosti daného akumulátoru. Hodnoty účinností sú dané základnými princípmi funkčnosti akumulátoru. Účinnosť nabíjacieho procesu je možno zlepšiť úpravou aktívnej hmoty zápornej alebo kladnej elektródy s použitím aditív alebo expandérom za účelom zväčšenia aktívneho povrchu elektród. Hodnoty rôznych typov akumulátorov sú zhrnuté v Tab. 3.[V]

Typ akumulátoru	LiFePo4	NaS	PbA	NiCd	NiMH	VRB	ZnBr	PSB
η [%]	85–95	75–83	60–91	65–85	65–85	60–80	60–73	60–65

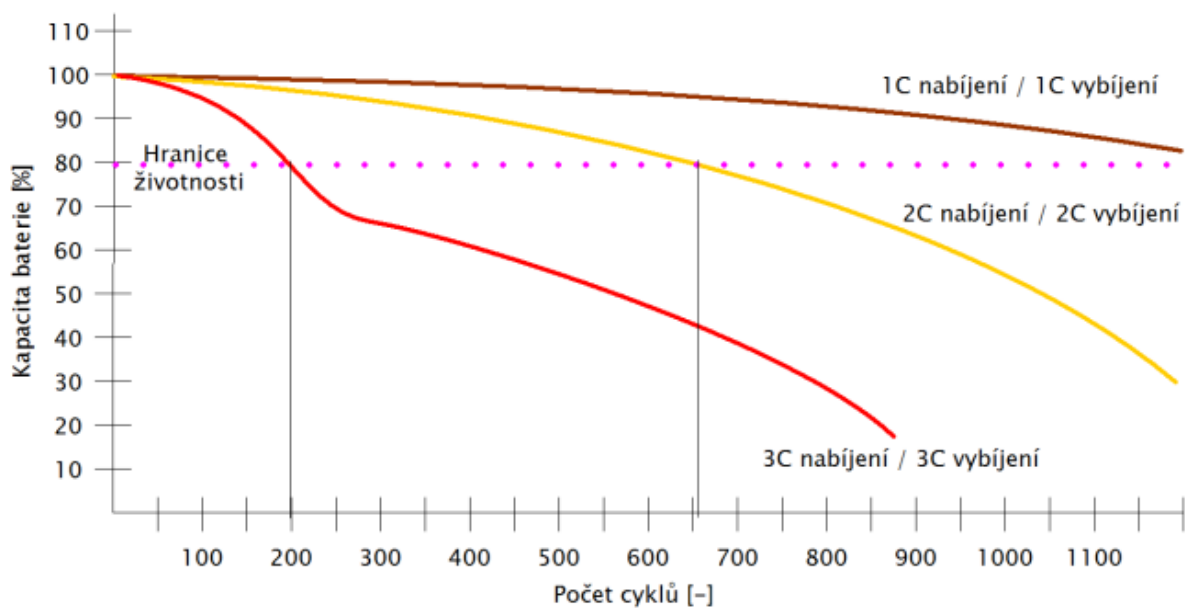
Tab.3 Limitné hodnoty účinností nabíjacieho/vybíjacieho procesu[14]

4.2.6 Životnosť batérií

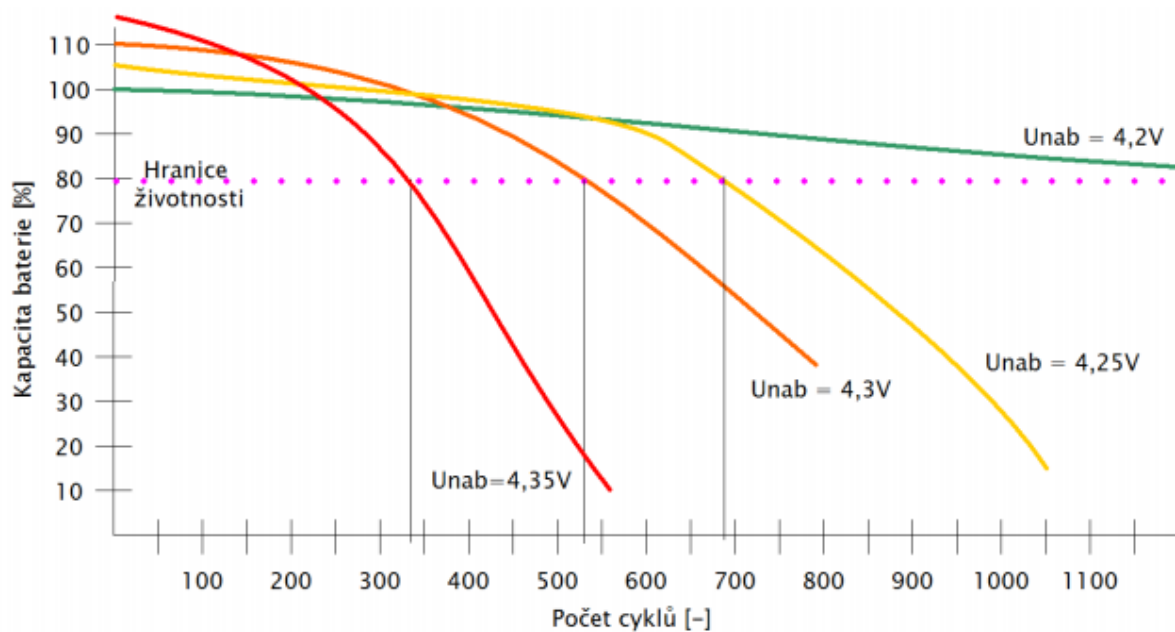
Životnosť batérií závisí predovšetkým na prevádzkovom napätí batérie a prevádzkových podmienkach. Udáva sa v počte cyklov do poklesu kapacity o 20 %, ale niektorí predajcovia ju uvádzajú aj v rokoch. Jednotlivé faktory, ktoré ovplyvňujú životnosť batérií sú uvedené v grafoch.



Graf č. 1 Vplyv teploty na kapacitu batérie[13]



Graf č. 2 Vplyv nabíjacieho/vybíjacieho prúdu na kapacitu batérie[13]



Graf č. 3 Vplyv nabíjacieho prúdu na kapacitu batérie[13]

4.2.7 Radenie akumulátorov do celkov

Pro získanie väčšej kapacity, je možné spájať akumulátory do série alebo paralelne, niekedy aj sérioparalelne. Akumulátory spojené do série poskytujú vyššie napätie. Akumulátory spojené paralelne poskytnú väčší prúd. V solárnych systémoch sa akumulátory obvykle radia paralelne, teda pre získanie väčšieho prúdu. Sérioparalelným radením je možné zvýšiť napätie systému, v kombinácii s možnosťou vyššieho odberu prúdu.

Vzhľadom k tomu, že je vhodné celkový počet akumulátorov v systéme obmedziť na minimálny počet a rovnako tak počet spojených akumulátorov, neuvažuje sa v praxi o tom, že sa použijú napr. väčšie množstvo 12V akumulátorov a tieto sa zapoja do sérioparalelného zapojenia tak, aby výsledné napätie bolo 24V, je to nevhodné riešenie, a v praxi opodstatnené iba vtedy, ak nie je iná možnosť, alebo ak sú pre to nejaké vážne dôvody.

V prvom rade si treba ujasniť či zákazník chce využívať napätí 12V, alebo 24V, čo si samozrejme budete musieť ujasniť už v súvislosti s výberom fotovoltaiických panelov. Ak chce využívať systémové napätie 12V, tak je ideálne využiť akumulátory 12V a ak chce využívať 24V, tak treba akumulátory s napätím 24V.

Pre zvýšenie kapacity akumulátorov sa akumulátory radia do paralelného zapojenia ("+" na "+" a "-" na "-"). Celkom zásadné je použitie rovnakých akumulátorov !!!

Znamená to použiť:

- rovnako nové akumulátory
- rovnakej kapacity
- rovnakého typu
- rovnakého výrobcu
- rovnakej výrobnéj série

Použitie akumulátory by proste mali byť úplne identické typy. Akumulátory s rôznymi vlastnosťami sa navzájom ovplyvňujú (vzájomne sa nabíjajú a vybíjajú apod.) a zákazník potom môžete nielen prísť o značnú časť kapacity, ale aj zásadným spôsobom skrátiť kapacitu akumulátorov. Celkom nevhodné je potom použiť akumulátory s rôznou kapacitou, pretože v tomto prípade ide nielen o využiteľnú kapacitu akumulátorov a ich životnosť, ale možno aj o "životnosť" majiteľa týchto akumulátorov. Akumulátor s vyššou kapacitou bude pri paralelnom zapojení v podstate trvale dobíjať akumulátor s nižšou kapacitou, tento bude trvale prebýjaný a jedného dňa až mu dôjde trpezlivosť a môže sa stať, že exploduje.[10]

5. Návrh fotovoltaického systému

5.1 Popis súčasného stavu

Návrh fotovoltaického ostrova v kombinácii s kogeneračnou jednotkou má za cieľ vytvoriť elektrickú nezávislosť pre vybraný objekt pre výrobný areál firmy Tedom. V súčasnosti objekt využíva elektrickú energiu, ktorú produkujú kogeneračné jednotky a tie sú dopĺňané zo siete.

Výrobný areál firmy Tedom a jej budovy, ktoré sú predmetom návrhu skladby zdrojov sa nachádzajú v obci Výčapy v okrese Třebíč v kraji Vysočina. Je to objekt, ktorého súradnice sú 49.146416N, 15.8816425E. Obec je označená na mape čiernou bodkou.



Obr. 11 Výčapy na mape Českej republiky [15]

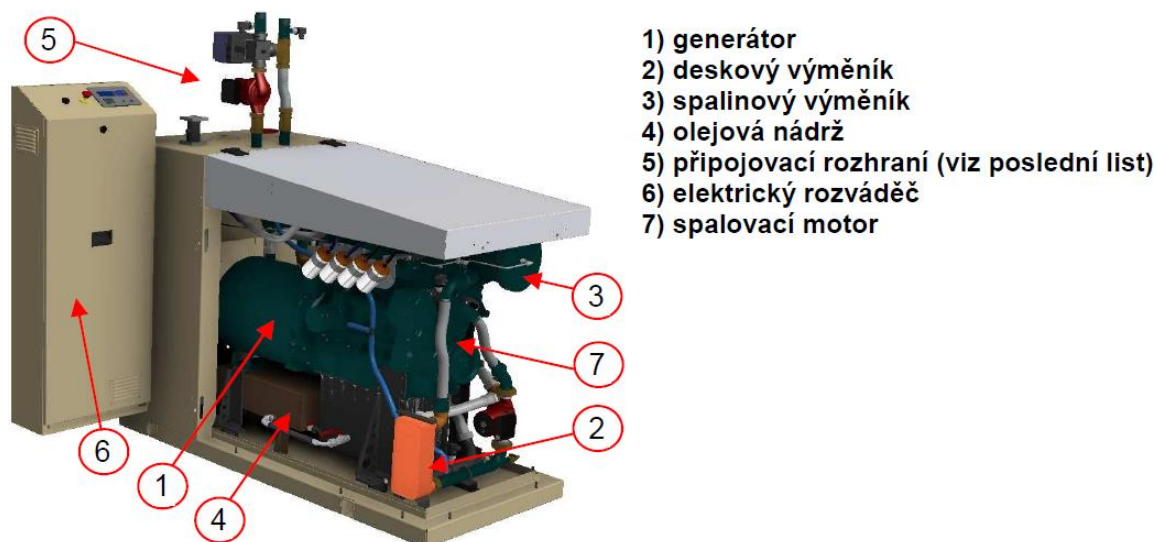
Obec Výčapy sa nachádza v južnej oblasti s takmer najväčším globálnym úhrnom slnečného žiarenia za rok v ČR a preto uvažovanie o využití slnečnej energie je opodstatnené.

V súčasnosti pre objekty A B C pracujú tri kogeneračné jednotky, ktoré sú dopĺňané elektrickou energiou zo siete. Každá jednotka zabezpečuje teplo a elektrickú energiu pre každú budovu.

Návrh bude vychádzať predovšetkým z nameraných dát spotreby elektrickej energie za rok 2014 pre budovu A, B, C – výroby elektro.

5.1.1 Kogeneračné jednotky

Pre budovu B pracuje kogeneračná jednotka Micro T30 SPE, ktorá bude v budúcnosti dopĺňať fotovoltaiický ostrov. Jednotka je určená pre spaľovanie zemného plynu, SPE – osadená synchronným generátorom pracujúci v kombinovanom elektrickom režime: P – paralelne so sieťou a E – núdzovo (pri výpadku verejnej siete). Hlavné výhody sú vysoká účinnosť, kompaktnosť, dlhá životnosť olejovej náplne a s tým spojený dlhý servisný interval.



Obr. 12 Kogeneračná jednotka Micro T30 SPE

provedení		standardní	s kondenzačním výměníkem	
jmenovitý elektrický výkon	P/E	30 / 34	30 / 34	kW / kVA
maximální tepelný výkon	P/E	62,0 / 62,4	71,6 / 72,0	kW
příkon v palivu		97,1	97,1	kW
účinnost elektrická	P/E	30,9 / 30,5	30,9 / 30,5	%
účinnost tepelná	P/E	63,9 / 64,3 %	73,7 / 74,2	%
účinnost celková (využití paliva)		94,8 %	104,6 / 104,7 ²⁾	%
spotřeba plynu při 100% výkonu		10,3	10,3	m ³ /h
spotřeba plynu při 75% výkonu		8,3	8,3	m ³ /h
spotřeba plynu při 50% výkonu		6,2	6,2	m ³ /h

Tab. 4 Základné technické údaje Micro T30 SPE

Obdobné kogeneračné jednotky s výkonmi 22 kW pracujú pre budovy A a C, ktoré po inštalácii fotovoltaického ostrova budú odpojené z výroby elektrickej energie. V budovách A, B, C prebieha výroba elektro v jednozmennom režime, kde v letnom období sa využívajú aj klimatizačné zariadenia, ktoré vplývajú na celkovú spotrebu elektriny.

Prehľad činností kogeneračných jednotiek za rok 2014 je uvedený v tabuľkách nižšie.

Mesiac	Elektrina na príspevok [kWh]	Max. EE na príspevok [kWh]	Výroba brutto [kWh]	Vlastná spotreba [kWh]	Prejazd za deň	Počet motohodín	Nárast počtu mth	Vyrobené teplo [kWh]	Užitočné teplo [kWh]
1	5 220	8 250	5 324	104	12	375	375	12 278	11 772
2	1 410	2 222	1 438	28	4	101	476	3 333	3 128
3	510	880	520	10	1	40	516	1 306	1 180
4	3 870	6 182	3 947	77	9	281	797	9 453	8 800
5	330	528	337	7	1	24	821	761	666
6	660	1 144	673	13	2	52	873	1 664	1 132
7	1 020	1 562	1 040	20	2	71	944	2 472	1 336
8	930	1 540	949	19	2	70	1 014	2 292	1 234
9	1 890	3 036	1 928	38	5	138	1 152	4 725	3 066
10	2 139	3 190	2 182	43	5	145	1 297	5 103	4 765
11	1 320	1 342	1 346	26	2	61	1 358	3 531	3 518
12	2 070	3 278	2 111	41	5	149	1 507	4 578	4 578
Celkom	21 369	33 154	21 795	426	50	1 507		51 494	45 174

Tab. 5 Kogeneračná jednotka pre budovu A – 22 kW

Mesiac	Elektrina na príspevok [kWh]	Max. EE na príspevok [kWh]	Výroba brutto [kWh]	Vlastná spotreba [kWh]	Prejazd za deň	Počet motohodín	Nárast počtu mth	Vyrobené teplo [kWh]	Užitočné teplo [kWh]
1	4 168	5 100	4 251	83	5	170	170	8 194	7 857
2	5 247	5 790	5 352	105	7	193	363	10 278	9 645
3	5 804	5 910	5 920	116	6	197	560	11 583	10 470
4	3 671	4 410	3 744	73		147	707	7 231	6 731
5	5 191	5 490	5 295	104	6	183	890	10 108	8 840
6	5 706	5 850	5 820	114	7	195	1 085	11 131	7 572
7	6 589	6 750	6 721	132	7	225	1 310	13 133	7 097
8	6 037	6 150	6 158	121	7	205	1 515	11 967	6 444
9	5 687	6 090	5 801	114	7	203	1 718	11 031	7 158
10	4 475	4 680	4 565	90	5	156	1 874	8 694	8 118
11	4 354	4 410	4 441	87	5	147	2 021	8 317	8 287
12	5 012	5 130	5 112	100	6	171	2 192	9 658	9 658
Celkom	61 941	65 760	63 180	1 239		2 192		121 325	97 878

Tab. 6 Kogeneračná jednotka pre budovu B – 30 kW

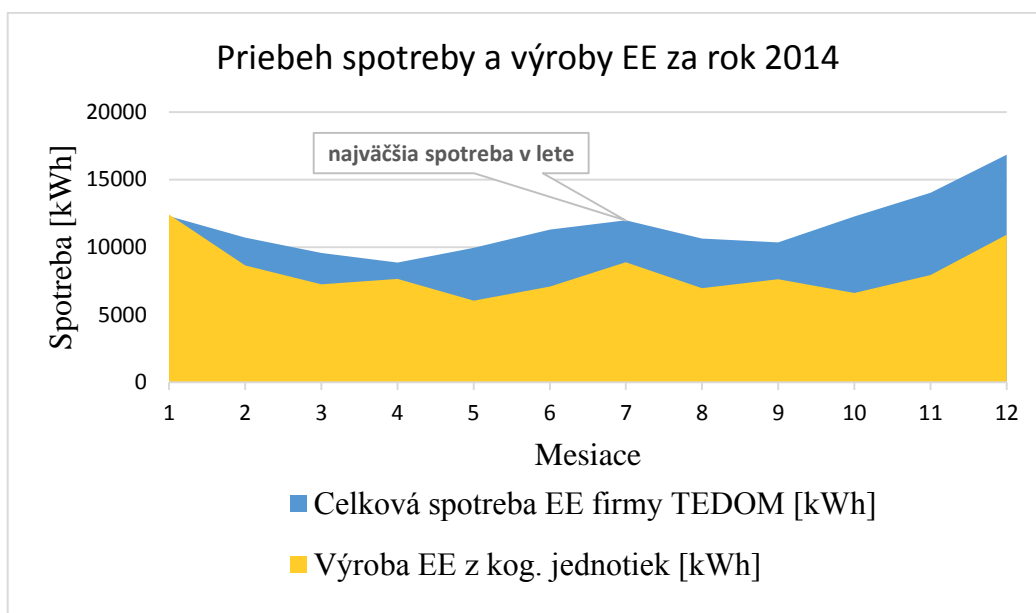
Mesiac	Elektrina na príspevok [kWh]	Max. EE na príspevok [kWh]	Výroba brutto [kWh]	Vlastná spotreba [kWh]	Prejazd za deň	Počet motohodín	Nárast počtu mth	Vyrobené teplo [kWh]	Užitočné teplo [kWh]
1	3 030	4 092	3 091	61	6	186	186	6 506	6 238
2	1 980	2 640	2 020	40	4	120	306	4 444	4 171
3	930	1 320	949	19	2	60	366	2 056	1 858
4	120	176	122	2	0	8	374	319	297
5	510	726	520	10	1	33	407	1 083	947
6	720	1 232	720	14	2	56	463	1 281	871
7	1 200	1 914	1 224	24	3	87	550	2 706	1 462
8	0						550		
9	61	88	62	1	0	4	554	142	92
10	1 412	2 332	1 412	28	3	106	660	3 689	3 445
11	2 254	2 948	2 254	45	4	134	794	4 586	4 570
12	3 138	3 982	3 138	63	6	181	975	6 433	6 433
Celkom	15 355	21 450	15 512	307	32	975		33 244	30 384

Tab. 7 Kogeneračná jednotka pre budovu C – 22 kW

Prehľad výroby a spotreby elektrickej energie areálu Tedom

Celková spolu vyrobená elektrická energia (ďalej ako EE) za rok 2014 všetkých kogeneračných jednotiek porovnaná s celkovou spotrebou EE objektu firmy TEDOM je uvedená v Tab. 8

Tab. 8			
Mesiac	Celková spotreba EE firmy TEDOM [kWh]	Výroba EE z kog. jednotiek [kWh]	Rozdiel [kWh]
1	12300	12418	-118
2	10703	8637	2066
3	9558	7244	2314
4	8860	7661	1199
5	9942	6031	3911
6	11305	7086	4219
7	11980	8885	3095
8	10637	6967	3670
9	10341	7638	2703
10	12260	6614	5646
11	14014	7931	6083
12	16828	10925	5903
Celkovo	139128	98037	40809



Graf č. 5

Medzi letnými mesiacmi, kde predpokladáme dodávku EE len z fotovoltackého ostrova, je najväčšia spotreba v mesiaci júl a to 11980 kWh.

Prehľad spotreby priemerného letného a zimného dňa je uvedený v Tab. 9.

Hodiny	Spotreba v lete [kWh]	Spotreba v zime [kWh]
0	0,000	0,160
1	0,000	0,000
2	0,170	0,000
3	0,000	0,000
4	1,343	0,000
5	13,932	1,440
6	28,045	22,242
7	30,700	24,625
8	32,683	26,032
9	35,853	25,657
10	34,610	25,185
11	36,233	23,567
12	36,115	23,352
13	34,815	24,047
14	22,325	16,772
15	13,702	12,390
16	1,950	7,122
17	0,710	2,777
18	0,402	0,055
19	0,410	0,155
20	0,450	0,000
21	0,520	0,000
22	0,403	0,000
23	0,525	0,000
Celkom	325,897	235,575

Tab. 9 Prehľad spotreby
elektrickej energie
priemerného letného
a zimného dňa



Graf č. 6

Z dôvodu nedostatku nameraných dát sa priebehy spotreby elektrickej energie spriemerovali a vybrali sa dáta pre letný a zimný deň, ktoré najviac zodpovedajú štandardnému letnému resp. zimnému dňu.

5.2 Vnútorne straty fotovoltaikej elektrárne

Predtým, než sa začne navrhovať solárny systém, je potrebné kalkulovať so stratami v celom systéme.

Straty popisované v tejto kapitole sa týkajú všetkých častí elektrárne, okrem strát fotovoltaiických panelov, ktoré vykazujú straty samostatne. Celá kapitola bude zameraná na **predpokladané** účinnosti a straty jednotlivých častí ostrovnej fotovoltaikej elektrárne. Aby bol zaistený denný (maximálny potrebný) odber elektrickej energie **326 kWh**, je potrebné nadimenzovať fotovoltaiické panely tak, aby ich výkon dosahoval dostatočnú hodnotu pre zabezpečenie takého odberu vzhľadom na všetky straty v systéme.

Prevádzka každého zariadenia so sebou nesie aj straty, ktoré sa prejavujú tak, že elektrická energia, ktorú je z daného zdroja možné dostať, je menšia než energia, ktorá prichádza do zdroja. Časť energie sa premení na teplo, využije sa na vnútorné straty komponentov (účinnosť). O všetky tieto straty je teda nutné navýšiť celkový výkon, ktorým musia disponovať fotovoltaiické panely. Inak povedané, každá časť ostrovnej fotovoltaikej elektrárne si vyberá akúsi "daň" z prechodu elektrického prúdu. Táto strata je samozrejme u každého komponentu iná. Celkové straty v tomto solárnom reťazci sú pomerne vysoké.

5.2.1 Odhadovaný výpočet strát

Nasledujúci odhadovaný výpočet vychádza z dát denného odberu elektrickej energie – **326 kWh**. Táto hodnota bude v jednotlivých výpočtoch navyšovaná tak, aby zohľadnila všetky straty v jednotlivých komponentoch elektrárne, teda aby zohľadnila všetky straty "na ceste" od solárnych panelov (zdroja) až po odber (spotrebič).

Straty v meniči napätia:

Ak bude polovicu energie dodávať menič napätia (striedač) pripojený k akumulátoru a druhá polovica energie bude odoberaná priamo z akumulátoru, znamená to, že polovica spotrebovanej energie bude stratová v meniči a druhá nie. Teda ak predpokladáme účinnosť meniča 90 %, potom polovica energie bude stratová o 10 % a polovica energie menič obíde a strata bude 0 %. Výsledná celková strata v dôsledku použitia meniča budú 5 %, tj. $(10 \% + 0 \%) / 2$, to znamená že za predpokladu odoberania polovice energie bude z akumulátoru, výsledná účinnosť meniča bude 95 %.

Spotreba so stratami meniča napätia bude: $\frac{326}{0,95} = 343 \text{ kWh}$

Straty pri akumulácii elektrickej energie v akumulátore:

Predpokladáme, že straty pri nabíjaní sú 10 %, teda účinnosť bude 90 %. Počítajme ale s tým, že polovicu elektrickej energie odoberieme priamo z regulátoru a polovicu ako energiu nahromadenú v akumulátore. Takže podobný postup ako pri meniči napätia nám dá iba polovičné straty, teda 5 % a účinnosť 95 %.

Definovanie využitia spotreby priamo z regulátoru a z akumulátora v pomere 50:50 bolo z dôvodu možnosti vlastného využitia meniča a naakumulovanej energie a jednoducho dosadzovať iné hodnoty a teda budú sa k tomu pomeru meniť aj straty.

Spotreba pri akumulácii energie v akumulátore bude: $\frac{343}{0,95} = \mathbf{361 \text{ kWh}}$

Straty v kábloch, konektoroch, svorkách a pod. :

Tieto straty vznikajú vďaka prechodovému odporu v konektoroch a svorkách. Výška strát je závislá na dĺžke a priemere pripojovacích káblov. Všeobecne tieto straty sú okolo 2 – 4 %. Budeme počítat' teda so stratami 3 %.

Spotreba so stratami v kabeláži a pod. bude: $\frac{361}{0,97} = \mathbf{372 \text{ kWh}}$

Straty v MPPT meniči:

Straty v MPPT meniči sú veľmi malé. Pre každé obdobie sú straty vo výške 5 % a teda účinnosť meniča je vysoká, 95 %.

Spotreba so stratami v MPPT meniči bude: $\frac{372}{0,95} = \mathbf{392 \text{ kWh}}$

Výsledky konečnej potrebnej energie, ktorú budú musieť dodať fotovoltaické panely do systému:

$$\text{požadovaná energia teda bude : } 326 * \frac{1}{0,95} * \frac{1}{0,95} * \frac{1}{0,97} * \frac{1}{0,95} = \mathbf{392 \text{ kWh}}$$

Pri daných stratách teda predpokladaná účinnosť systému (pozn. nezarátavame straty fotovoltaických panelov) bude $\frac{330}{399} * 100 = \mathbf{85 \%}$

5.3 Podmienky pre fotovoltaické panely

5.3.1 Optimálna orientácia panelov

Panely je nutné umiestniť tak, aby mohli pojať čo najväčšie množstvo slnečného svitu. Ideálne je panely nasmerovať priamo na juh, aby slnko svietilo kolmo na panel čo najdlhšiu dobu. Nie každý návrh umožňuje smerovanie panelov na juh a je nutné umiestniť fotovoltaické panely tak, že sú viac natočené na západ alebo na východ. Orientácia panelov na juho-západ, alebo juho-východ zníži v zime výkon panelov asi o 10 % a v lete asi o 3 %.

Optimálny sklon panelov sa pohybuje medzi 35° až 49°. V letnom období je slnko vyššie nad úrovňou horizontu než v zime. Teda ak solárne panely budú využívané iba v lete, ideálnym sklon bude 35° - panely budú viac naplocho. Ak budú panely používané celoročne, alebo iba v zime, potom je vhodné panel osadiť pod vyšším uhlom, teda až po 49° kvôli nízko položenému slnku v zimnom období.

Ak berieme hodnotu, z ktorej vychádzam pre naklopenie panelu uhol 35°, ktorý je optimálny pre obdobie leta, potom naklopenie panelov na 45° získame o 1 % nižší výkon v lete a v zime získame o 1 % výkonu viac. Naklopením panelu na 49° získame v lete asi o 4% nižší výkon a v zime získame asi o 5 % navyš. Naklopenie panelov o viac ako 49° a menej ako 35° je kontraproduktívne a dochádza ku poklesu výkonu v lete aj v zime.[1]

Mesiac	Priemerná dopadajúca energia pri uhle sklonu oslnenej plochy [kW.h.m ⁻²]						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Jan	22,6	27,3	31,6	33,8	35,3	36	35,7
Feb	38,4	47,3	53,5	57,7	59,9	60,2	57,1
Mar	81,8	93,3	101,4	104,5	102,6	98,6	89,9
Apr	110,4	120,9	127,5	129	120,3	107,7	91,5
Máj	152,8	164,9	172,2	170,2	149,7	124	93,9
Jún	167,7	177,3	181,2	176,4	158,1	126	92,4
Júl	161,8	174,5	182,3	180,1	157,8	130,2	97,7
Aug	131,8	144,8	152,8	154,4	143,8	127,4	106,3
Sep	92,1	106,2	116,1	120,3	117,9	113,1	102
Okt	45,3	57	65,4	70,4	73,8	74,1	69,8
Nov	21,9	26,4	30,6	32,7	34,2	34,8	34,5
Dec	15,8	18,9	21,1	22,3	23,3	22,6	22,3
Celkom	1042,4	1158,8	1235,6	1251,8	1176	1054,7	893,1

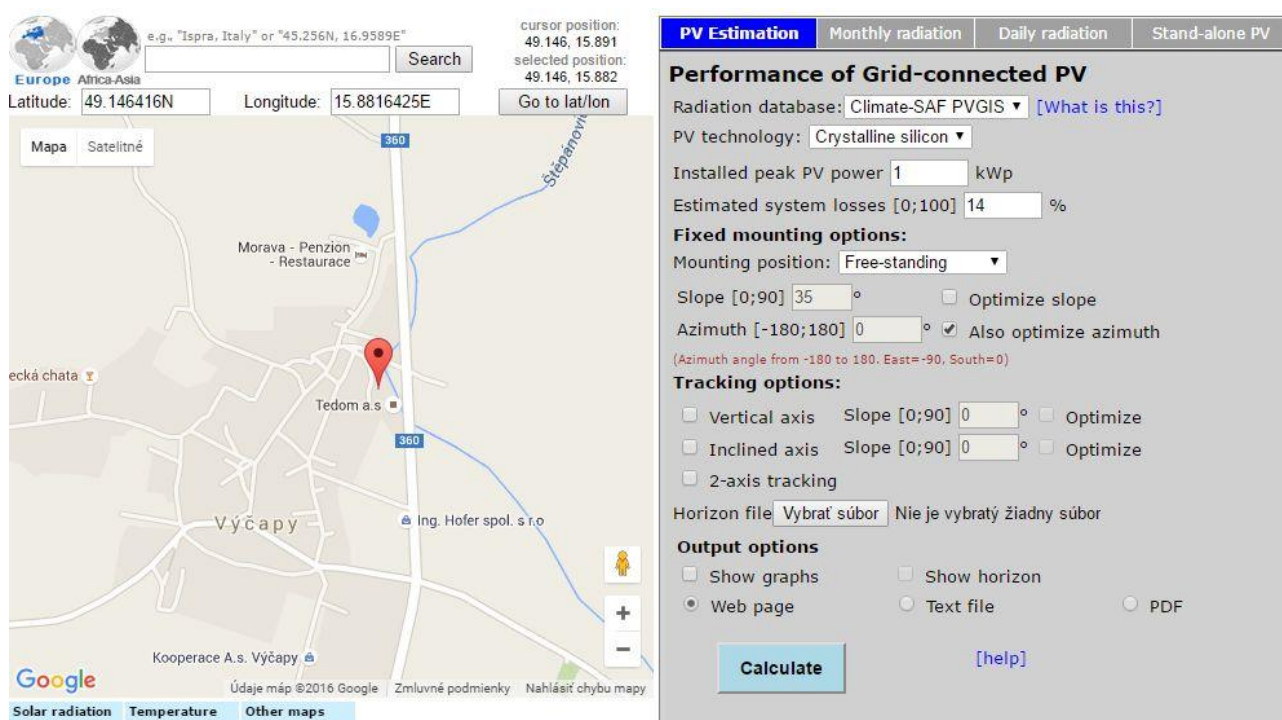
Tab. 10 Prehľad dopadajúcej energie pri rôznom sklone oslnenej plochy [1]

5.3.2 Slnéčné podmienky

Údaje o slnečnom žiarení v ČR z jednotlivých zdrojov sa avšak líšia. Ak zhrnieme doteraz publikované údaje, dôjdeme k nasledujúcim informáciám: v Českej republike dopadne na 1 m² vodorovnej plochy zhruba 950 – 1340 kWh energie, ročné množstvo slnečných hodín sa pohybuje v rozmedzí 1331 – 1844 hod (ČHMU), odborná literatúra uvádza až 1600 – 2100 hod.[<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#podminky>]

Uvažovaný objekt, pre ktorý je fotovoltaický systém navrhovaný sa nachádza v Kraji Vysočina, v obci Výčapy. Pri zhodnotení slnečných podmienok v tejto lokalite vychádzam z údajov vygenerovaných z voľne dostupného programu PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System), vyvinutý s podporou európskej komisie pre vedu.

Pre obec Výčapy nám poskytne program PVGIS relatívne konkrétne hodnoty slnečných podmienok.



Obr. 13 Webová aplikácia PVGIS [16]

5.3.3 Straty výkonu fotovoltaických panelov

Závislosť výkonu fotovoltaických panelov na intenzite slnečného svitu

Zníženie intenzity slnečného svitu má zásadný vplyv na výkon panelov. Pri oblačnom počasí klesne výkon fotovoltaických panelov na cca 30 % a pri úplne zatiahnutej oblohe sa môže výkon znížiť až na 10 % výrobcom deklarovaného maximálneho výkonu fotovoltaických panelov.

Straty vzniknuté ohrevom panelov

Pri strate vzniknutej ohrevom panelov je vhodné definovať teplotný koeficient výkonu fotovoltaického panelu (teplotný koeficient solárnych článkov v paneli). Teplotný koeficient udáva pokles výkonu fotovoltaického panelu v závislosti na rastúcej teplote fotočlánkov, z ktorých sú zložené fotovoltaické panely. Maximálny výkon panelov klesá s ich rastúcou teplotou. Stredná hodnota tepelného koeficientu je okolo 0,47%/°C. Pri zmene teploty o 25°C dôjde ku zmene výkonu až o 10 %. Nižší výkon panelov je možné zaznamenať pri vysokých letných teplotách, kedy sa panely ohrievajú na vysoké teploty.[1]

Straty vzniknuté uhlovou odrazivosťou

Tieto straty sú spôsobené odrazom svetla od povrchu panelov. Jedná sa o odraz svetla od skleneného povrchu a tieto straty tvoria asi 3 % z celkového výkonu solárnych panelov.

Intenzita slnečného žiarenia na danom mieste

Údaje boli vygenerované v aplikácii PVGIS[16], ktorú využívajú aj firmy a vo výpočtoch uľahčujú prácu pri navrhovaní fotovoltaickej elektrárne. Tabuľka bola vygenerovaná po zadaní súradníc objektu.

Mesiac	H _h [Wh/m ² /deň]	H _{opt} [Wh/m ² /deň]	H(90) [Wh/m ² /deň]	I _{opt} [deg]	T _D [°C]	T _{24h} [°C]	N _{DD} [-]
Jan	786	1140	1110	60	-0.9	-2.2	602
Feb	1500	2080	1900	55	0.4	-1.1	492
Mar	2990	3800	3040	46	04.6	02.9	410
Apr	4630	5290	3490	34	10.5	08.5	195
May	5200	5310	2890	20	14.9	13.3	89
Jun	5600	5480	2760	15	17.8	16.4	48
Jul	5410	5400	2820	17	19.7	18.3	16
Aug	4680	5100	3100	29	19.7	18.1	55
Sep	3310	4010	2990	41	15.0	13.2	185
Oct	2020	2770	2450	53	09.9	08.3	359
Nov	916	1330	1280	59	04.7	03.6	528
Dec	629	955	966	63	-0.1	-1.4	640
Rok	3150	3560	2400	34	09.7	08.2	3619

H_h : slnečné žiarenie na horizontálnu plochu

H_{opt} : slnečné žiarenie na optimálne naklonenú rovinu

H(90) : slnečné žiarenie na plochu pod uhlom 90°

T_D : priemerná denná teplota

T_{24h} : 24 hodinová priemerná teplota

N_{DD} : number of heating degree-days

Pre orientáciu v rozdielnych skokoch za jednotlivé mesiace je priložená tabuľka zobrazenia produkcie elektrickej energie panelu s výkonom 100 Wp. Tabuľka bola získaná po dosadení základných hodnôt pre generáciu výpočtu elektrickej energie pomocou fotovoltaiických panelov.

Dosadené údaje sú:

Zem: Česká republika

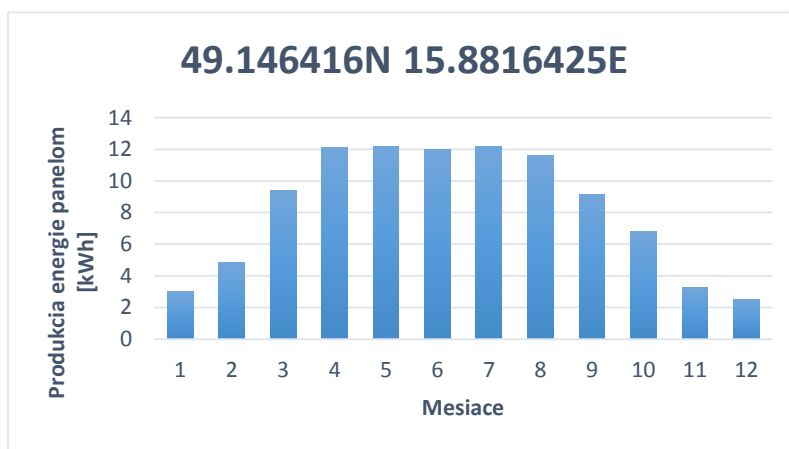
Obec: Výčapy

Fotovoltaiický panel – výkon :
100 Wp

Orientácia panelu: juh

Sklon panelu: 35°

Predpokladaná účinnosť
panelov: 16 %



Graf č. 7 Produkcia panelu s výkonom 100 Wp

Podľa jednotlivých hodnôt spotreby za jednotlivé mesiace vieme odhadnúť požadovaný výkon fotovoltaiických panelov. Naším cieľom je úplná autonómnosť systému počas letných mesiacov. Využijeme aplikáciu PVGIS, ktorá nám vygeneruje tabuľku možnej produkcie elektrickej energie celého systému. Vhodnou voľbou výkonu dostaneme potrebnú elektrickú energiu pre letné mesiace.

Vstupné údaje:

Inštalovaný výkon : 100 kWp

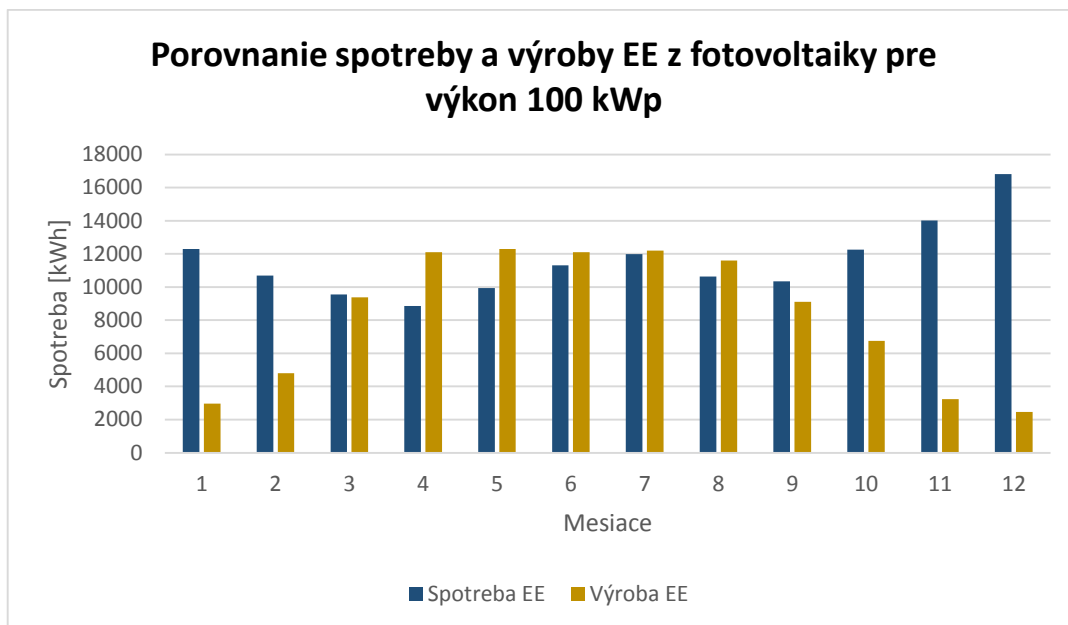
Technológia: Kryštalický kremík

Predpokladné straty systému: 15 %

Náklon panelov: optimálny (35°)

Mesiac	E _d [kWh]	E _m [kWh]	H _d [kWh/m ²]	H _m [kWh/m ²]
Jan	95.60	2960	1.14	35.4
Feb	172.00	4810	02.8	58.3
Mar	303.00	9380	3.80	118
Apr	405.00	12100	5.29	159
May	395.00	12300	5.31	165
Jun	403.00	12100	5.48	164
Jul	393.00	12200	5.40	167
Aug	374.00	11600	05.10	158
Sep	304.00	9120	04.1	120
Oct	218.00	6760	2.77	85.9
Nov	108.00	3230	1.33	39.8
Dec	79.50	2460	0.95	29.6
Ročný priemer	258	7840	3.56	108
Celkom za rok		94000		

Tab. 11 Možná produkcia elektrickej energie



Graf č. 8

Z grafu je jednoznačne vidieť, že počas zimných mesiacov výkon fotovoltaického systému je veľmi nízky. Ďalšou úlohou je zistiť pomer dodávanej energie medzi fotovoltaickým systémom a kogeneračnou jednotkou počas celého roka.

$$[\text{Celková spotreba EE areálu Tedom}] - [\text{Výroba EE z FV systému}] = [\text{Výroba EE z KJ}]$$

Mesiac	Celková spotreba EE firmy TEDOM [kWh]	Vyrobená EE z fotovoltaického systému [kWh]	Potrebná EE z kogeneračnej jednotky [kWh]	Percentuálny podiel výroby EE z KJ [%]
1	12300	2960	9340	76
2	10703	4810	5893	55
3	9558	9380	178	2
4	8860	12100	0	0
5	9942	12300	0	0
6	11305	12100	0	0
7	11980	12200	0	0
8	10637	11600	0	0
9	10341	9120	1221	12
10	12260	6760	5500	45
11	14014	3230	10784	77
12	16828	2460	14368	85
Celkovo	139128	99020	47464	29

Tab. č. 12 Prehľad navrhovanej výroby elektrickej energie

5.4 Návrh a dimenzovanie solárnych panelov

Fotovoltaické panely budú montované na pevnú betónovú zem v okolí areálu firmy. Panely budú staticky osadené a nebudú vykonávať žiadny automatizovaný pohyb. Výhodou určeného miesta je, že panelom nebude nič tieniť. Voľba padá na osvedčené fotovoltaické panely s technológiou na báze kremíka, ktoré boli popísané v úvodnej časti. Pretože môžeme ľubovoľne zvoliť sklon panelov a tým sa zvýši celkové množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia, pripadá do úvahy voľba vytvoriť ostrov z monokryštalických panelov. Avšak ak je snaha o minimalizáciu ceny, je výhodnejšie použiť polykryštalické panely, ak o maximálny výkon z jednotkovej plochy, treba použiť spomínané panely monokryštalické.

Vzhľadom k vysokému vypočítanému inštalovanému výkonu fotovoltaickej elektrárne je dobré sa rozhodovať medzi panelmi s vyšším výkonom a tým docielime zníženie veľkosti zastavanej plochy, nákladov na kabeľáž, ale aj znížime náročnosť montáže panelov.

Z dostupných FV modelov sme vybrali najpoužívanejšie a najosvedčenejšie monokryštalické panely, podľa webu, ktorý porovnáva fotovoltaické panely, týchto značiek[17]:

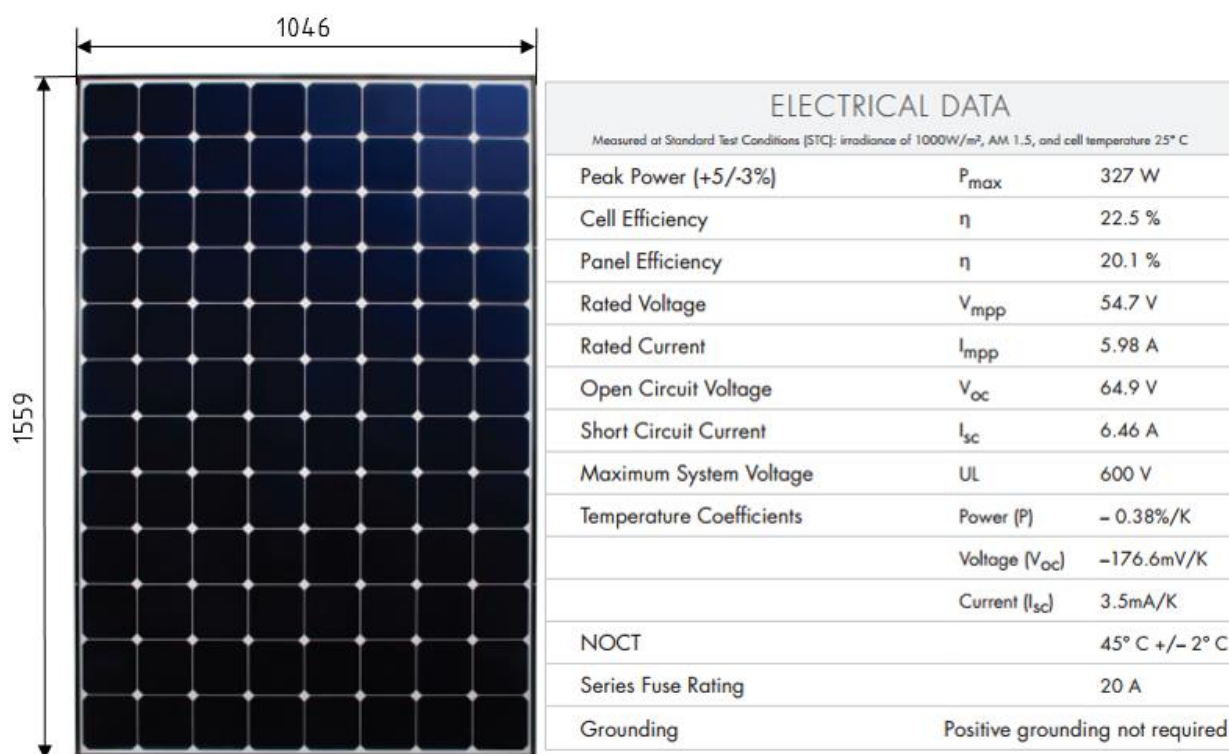
- Canadian Solar
- Grape Solar
- Sunivia
- Solar World
- Sunpower
- LG

Pri výbere budeme vychádzať z hlavného kritéria a to je pomer cena/výkon. Ďalšie dôležité kritériá sú životnosť FV panelov a ich garancia a stabilita výkonu.

Názov FV panelu	Výkon [Wp]	Zem pôvodu	Garantovaná životnosť	Cena [€/Wp]
Canadian Solar	320	Kanada	90% na 10 rokov a 80% na 25 rokov	1.24
Grape Solar	390	USA	90% na 10 rokov a 80% na 25 rokov	1.23
Suniva	330	USA	90% na 10 rokov a 80% na 25 rokov	1.16
Solar World	325	Nemecko	91% na 10 rokov a 81% na 25 rokov	1.22
Sunpower	327	USA	90% na 10 rokov a 80% na 25 rokov	1.12
LG	320	Kórea	90% na 12 rokov a 80% na 25 rokov	1.21

Tab. č. 13 Porovnanie vybraných solárnych panelov

Najlepšou voľbou vzhľadom na pomer ceny a výkonu vychádzajú solárne panely od firmy SunPower. Výhodou týchto panelov je aj existujúci český obchod, ktorý distribuuje panely tejto značky. V prílohe sú uvedené technické parametre solárneho panelu SunPower SPR-327NE-WHT.



Obr. 14 Solárny panel SunPower SPR-327NE-WHT

Výpočet množstva panelov a potrebnej plochy

Ak predpokladáme inštalovaný výkon $P_i = 100 \text{ kWp}$ a použijeme monokryštalický panel s výkonom $P_p = 327 \text{ Wp}$, potom pre potrebný počet panelov N_p platí:

$$N_p = \frac{P_i}{P_p} = \frac{100\,000 \text{ Wp}}{327 \text{ Wp}} = 305,81 \approx 306$$

Ak rozmery daného panelu sú 1559 x 1046 x 46 mm, potom je potrebné panely naskladať vhodným spôsobom, aby si vzájomne netienili a aby zabrali čo najideálnejšiu plochu z hľadiska kompaktnosti ostrova. Pre inštaláciu solárnych panelov sa používajú hliníkové konštrukcie, na ktoré sa solárne panely osadia. Osadenie solárnych panelov musí byť v dostatočnej výške nad zemou tak, aby ani väčšia snehová pokrývka nedosiahla na panely.

Solárne panely rozdelíme do jednotlivých hliníkových konštrukcií. Na každú konštrukciu bude namontovaných 6 panelov na ležato.



Obr. 15 Blok so 6 panelmi

Ak jedna konštrukcia obsahuje 6 panelov a potrebných je 306 panelov, potom je nutné osadiť $\frac{306}{6} = 51$ konštrukcií.

Pri výpočte potrebnej plochy na zastavanie budeme vychádzať z uvažovaného usporiadania konštrukcií. Bude ich 7 v rade a radov bude 7, čo nám dáva $7 \times 7 = 49 + 2$ konštrukcie, aby sme dosiahli potrebný počet 51.

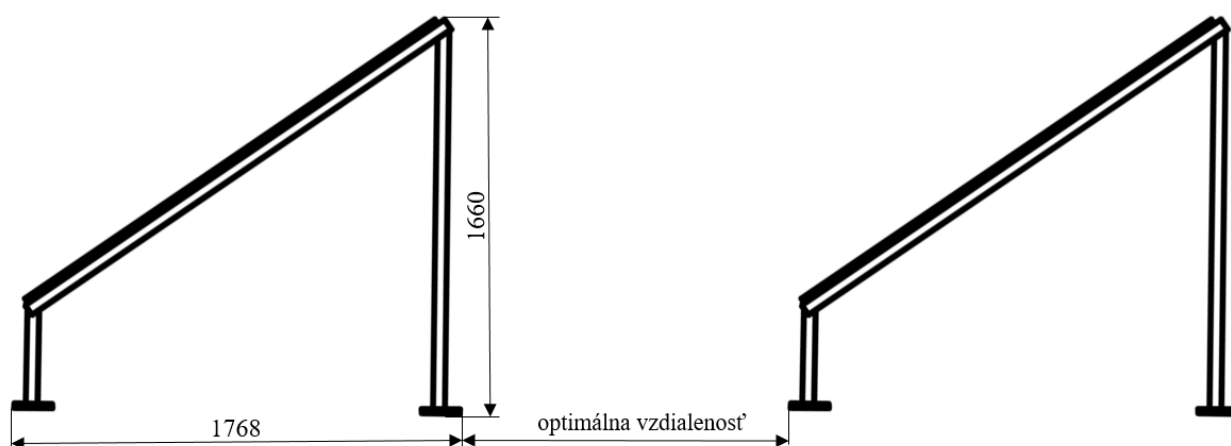
Jedna konštrukcia má dĺžku A a medzera medzi nimi bude B, šírka konštrukcie je C a vzdialenosť medzi radami bude D, potom potrebná plocha na zastavanie bude:

$$A = 4,677 \text{ m}$$

$$B = 0,02 \text{ m} \quad 1 \text{ strana plochy : } x = 7 \times A + 6 \times B = 7 \times 4,677 + 6 \times 0,02 = 32,859 \text{ m} \approx \mathbf{33 \text{ m}}$$

$$C = 1,768 \text{ m}$$

Pre druhú stranu plochy je potrebné vyrátať optimálnu vzdialenosť medzi konštrukciami. Na Obr. č X je bočný pohľad na konštrukcie.



Obr. 17 Vzdialenosť medzi panelmi

Pre výpočet optimálnej vzdialenosti použijeme vzťah z [] :

$$D = \frac{H}{\tan(Y)} \times \cos(Z) = \frac{1660}{\tan(55^\circ)} \times \cos(0^\circ) = 1,17 \text{ m}$$

Kde D = vzdialenosť medzi panelmi [mm]

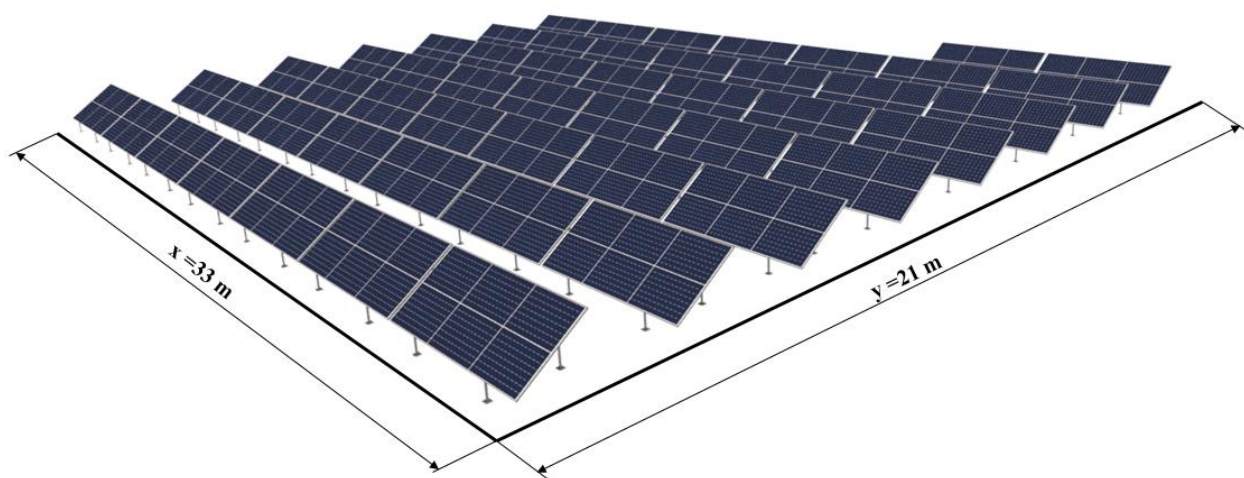
H = výška panelov [mm]

Y = uhol slnka a terénu [$^\circ$]

Z = azimut [$^\circ$]

Potom pre druhú stranu plochy platí :

$$2 \text{ strana plochy : } y = 7 \times C + 7 \times D = 7 \times 1,768 + 7 \times 1,17 = 20,566 \text{ m} \approx \mathbf{21 \text{ m}}$$



Obr. 16 Rozloženie solárnych panelov

Potrebná plocha na zastavanie teda bude:

$$x \times y = 33 \times 21 = 693 \text{ m}^2$$

5.5 Návrh FV Invertoru

Pre tak veľký fotovoltaický ostrov, ktorý obsahuje veľa solárnych panelov použijeme Invertor, ktorý spracováva relatívne vysoký výkon.. Aby sme mohli byť schopní zvoliť vhodný invertor, musíme zistiť aký maximálny prúd môže dodať sústava solárnych panelov. Dovoľený maximálny prúd invertoru nesmie byť menší, než maximálny prúd, ktorý môžu vygenerovať solárne panely. Navrhovaný systém je 12 voltový.

Maximálny prúd smerujúci do invertoru:

Maximálny elektrický prúd zo solárnych panelov je prúd skratový : $I_{SC} = 6,46 \text{ A}$

$$I_{panelov} = I_{SC} \times 306 = 6,46 \text{ [A]} \times 306 = 1976,76 \text{ A}$$

Menovitý DC výkon na vstupe do invertoru:

$$P = U \times I = 12 \text{ [V]} \times 1976,76 \text{ [A]} = 23721,12 \text{ W}$$

Maximálny prúd smerujúci z invertoru:


$$P = I \times U \gg I = \frac{P}{U} = \frac{37000 \text{ [W]}}{24 \text{ [V]}} = 1541,67 \text{ A}$$

Menovitý AC výkon na výstupe:

Ak výrobca garantuje účinnosť $\eta = 98,7\%$, potom menovitý AC výkon pre Invertor bude:

$$P_{AC} = P \times \eta = 23721,12 \times 0,987 = 23412,75 \text{ W}$$

Podľa napätí na vstupe a výkonu na výstupe volím Invertor Sunny Tripower 25000TL-JP od jednej z najlepších firiem, ktorá vyrába zariadenia pre solárnu techniku. Je to americká firma SMA. Je jedna z mála firiem, ktorá poskytuje zariadenia s takými parametrami. Datasheet produktu je v prílohe.

	Maximálny DC výkon	$P_{DC} = 25550 \text{ W}$
	Maximálne vstupné napätie	$U = 1000 \text{ V}$
	Maximálny AC výkon	$P_{AC} = 25000 \text{ W}$
	Účinnosť	$\eta = 98.8 \%$
	Hmotnosť	$m = 61 \text{ kg}$

Tab. 14 Invertor Sunny tripower 25000TL-JP

5.6 Návrh Meniča

Pre daný AC výkon volím menič od tej istej firmy MSA a to modul **Multicluster-box 12**. Je to hybridný menič, ktorý dokáže pracovať s tromi vstupmi zároveň – prúd zo solárnych panelov, z akumulátorov a kogeneračnej jednotky. Tento menič volím preto, lebo zvláda s dostatočnou rezervou pracovať s požadovanými napätiami a elektrickými prúdmi. Detailný popis zariadenia je v prílohe.



Obr. 16 FV menič Multicluster-box 12

Tento menič je vhodný pre všetky kombinácie fotovoltaiického systému a to grid-off, grid-on a systém hybridný. Je vhodný taktiež pre nízkonapäťový systém a to 12V a pre akumuláciu energie až do výšky 100 kWp a možno ho zapojiť do systému, kde inštalovaný výkon solárnych panelov dosahuje až 138 kWp.

5.7 Návrh Akumulátorov energie

Ak chceme úplnú autonómiu systému, tzn. vypnutá kogeneračná jednotka v letných dňoch. Pri návrhu potrebnej kapacity akumulátorov treba vychádzať zo spotrebovanej dennej elektrickej energie, tzn. 326 kWh. Vzhľadom na častú premenlivosť počasia letných dňoch určíme potrebnú kapacitu a typ akumulátorov. Akumulátory sa navrhujú pre najhoršie počasie, ktoré môže nastať.

Potrebná kapacita akumulátorov teda bude:

$$\text{Denná spotreba v letnom dni: } P_d = 326 \frac{\text{kWh}}{\text{deň}}$$

$$\text{Napätie akumulátorov: } U_a = 12 \text{ V}$$

$$\text{Letné dni bez slnka za sebou: } d = 2$$

Podľa CHMI je priemerný počet oblačných dní v letných mesiacoch 7, avšak v takýchto prípadoch, kedy bude dni bez slnka viac ako 3, je možnosť zapnúť kogeneračnú jednotku.

$$\text{Maximálne vybitie akumulátorov: } V_{max} = 80 \%$$

$$\text{Denná kapacita akumulátorov bude: } C_1 = \frac{P_d}{U_a} = \frac{326000 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 27166 \frac{\text{Ah}}{\text{deň}}$$

$$\text{Kapacita akumulátorov pre oblačné dni bude: } C_2 = C_1 \times d = 27166 \times 2 = 54332 \text{ Ah}$$

Celková potrebná kapacita akumulátorov bude:

$$C = C_2 \times \frac{1}{\frac{V_{max}}{100\%}} = 54332 \times \frac{1}{0,8} = 67915 \text{ Ah}$$

Pri výbere a zostavovaní akumulátorov musíme brať do úvahy celkovú požadovanú kapacitu, napätie, individuálne napätie a individuálnu kapacitu akumulátoru. Ako je známe, olovené batérie nesmú byť v stave vybitia dlhú dobu, musia byť čo najrýchlejšie dobité na 100% inak zosulfátujú – stratia kapacitu. Počas zimného obdobia akumulátory nebudú nabité a preto olovené batérie pre návrh vylučujem. Vysoká cena lítiových akumulátorov zdvihne náklady o podstatnú sumu, avšak je nutné ich zvoliť.

Podľa prieskumu trhu sa mi vyfiltrovali štyria svetový výrobcovia akumulátorov a to firmy:

Solar One

Trojan

Crown

Smart Battery

Prví dvaja menovaní sú prémioví výrobcovia a ceny akumulátorov sú vysoké. Volím batérie od firmy Smart Battery, pretože aktuálne ponúkajú zľavu 10% pri kúpe viac ako 100 batérií.

Jedná sa o batériu **Smart Battery 12V 300AH Lithium Ion Battery**. Datasheet je uvedený v prílohe.



Nominálne napätie	U = 12,8 V
Kapacita	C = 300 Ah
Technológia	LiFePo ₄
Účinnosť	η = 99,1 %
Hmotnosť	m = 42 kg

Obr. 17 Smart Battery 12V 300AH Lithium Ion Battery

Pre tak veľkú potrebnú kapacitu určí množstvo batérií **M**:

$$M = \frac{C [Ah]}{300 [Ah]} = \frac{67915}{300} = 226 \text{ batérií}$$

Batérie budú radené paralelne a umiestnené do hliníkového kontajneru.

5.8 Návrh Solárneho regulátora

Solárny regulátor taktiež zvolíme z firmy MSA tak, aby spĺňal všetky parametre bezpečného chodu akumulačného systému. Máme dve možnosti a to pre tak veľký akumulačný systém nainštalovať viac solárnych regulátorov, alebo jeden priemyselný regulátor. Volím druhú možnosť a tou je solárny regulátor pre stredné a veľké solárne systémy **Sunny Central Storage 500**. Vhodnejšie by bolo voliť pravdepodobne menšie regulátory s nižšou cenou, avšak systém je 12 voltový a väčšina menších regulátorov, ktoré by zvládali tak veľkú akumuláciu sú na 48V.



Obr. 18 Solárny regulátor Sunny Central Storage 500

6. Technicko – Ekonomická bilancia

6.1 Finančný plán

Predstava finančného plánu, ktorá reprezentuje investičný zámer v podobe finančnej náročnosti je podstatným prvkom pre každého investora. Finančný plán spája predstavy o vyhotovení zákazky a následným zhodnotením reality projektu. Zisťuje reálnosť podnikateľského zámeru a jeho výnosnosť. Vo finančnom pláne by malo byť jasné z akých zdrojov bude projekt financovaný. Investor si musí určiť zakladateľský rozpočet, od ktorého sa odrazí. Podľa určeného rozpočtu sa nám naskytne prvý odhad reálnosti projektu. Porovnaním potenciálnej výnosnosti fotovoltickej elektrárne s predpokladanou a požadovanou výnosnosťou objednávateľa získame prvý krok k rozhodovaniu, či projekt realizovať alebo nie. Ak návratnosť a výnosnosť nedosahuje želané požiadavky, nie je vhodné podnikateľský zámer uskutočniť.

Nasledujúca tabuľka reprezentuje prehľad predpokladaných vstupných nákladov:

	Prvky systému	Počet [ks]	Cena za kus [Kč]	Cena celkom [Kč]	% z celkovej investície
1	Projektová dokumentácia	1	50 000	50 000	0.21
2	FV panely	306	9 735	2 978 910	12.33
3	Konštrukcie FV panelov	51	6 000	306 000	1.27
4	Menič napätia	1	341 825	341 825	1.41
5	Elektrozvody	306	100	30 600	0.13
6	Ochrana proti blesku a prepätia	1	5 650	5 650	0.02
7	FV invertor	1	120 150	120 150	0.50
8	Solárny regulátor	1	2 100 000	2 100 000	8.69
9	Batérie	226	80 000	18 080 000	74.84
10	Kabeláž	1	145 000	145 000	0.60
	Celkom			24 158 135	100%

Tab. 15 Vstupné náklady pre FV systém

Všetky ceny sú získané z internetových obchodov a sú uvedené bez DPH.

Je vidieť, že celkové náklady na fotovoltickú elektráreň razantne stúpnu pri zakúpení akumulčných batérií. Z prehľadu vstupných nákladov je vidieť, že najväčšiu položkou sú jednoznačne batérie. Ale za podmienok, ktorých bude fungovať fotovoltická elektráreň je nutné použiť kvalitné lítiové baterky, ktoré môžu byť takmer prázdne počas zimného obdobia. Týmto sa celý projekt predraží ale výrobca batérií garantuje nízky pokles výkonu v horizonte dvadsiatich rokov a taktiež garantuje záruku na 10 rokov. To znamená, že vo veľmi veľkom časovom období sa nepredpokladá výmena batérií. V ďalšej kapitole budem popisovať a zhodnocovať investície, či podnikateľský zámer je opodstatnený.

6.2 Zhodnotenie investície

Ak predpokladám bezporuchovú činnosť takto finančne náročnej fotovoltaikej elektrárne po dobu 25 rokov a počas tohto obdobia klesne výkon solárnych panelov ručený výrobcom každý rok maximálne o 0,7%, potom treba zistiť, či vôbec o nejakej návratnosti je možné uvažovať. Pre takto vysoký inštalovaný výkon sa zo zákona zelené bonusy neuplatňujú.

Roky	Množstvo energie vyrobenej FV systémom [kWh]	Celková ročná spotreba areálu [kWh]	Potrebné vyrobiť z KJ [kWh]	Percentuálny podiel KJ na výrobe EE [%]
1	99 020	139 128	40 108	29
2	98 723	139 128	40 405	29
3	98 427	139 128	40 701	29
4	98 131	139 128	40 997	29
5	97 837	139 128	41 291	30
6	97 544	139 128	41 584	30
7	97 251	139 128	41 877	30
8	96 959	139 128	42 169	30
9	96 668	139 128	42 460	31
10	96 378	139 128	42 750	31
11	96 089	139 128	43 039	31
12	95 801	139 128	43 327	31
13	95 514	139 128	43 614	31
14	95 227	139 128	43 901	32
15	94 941	139 128	44 187	32
16	94 656	139 128	44 472	32
17	94 372	139 128	44 756	32
18	94 089	139 128	45 039	32
19	93 807	139 128	45 321	33
20	93 526	139 128	45 602	33
21	93 245	139 128	45 883	33
22	92 965	139 128	46 163	33
23	92 686	139 128	46 442	33
24	92 408	139 128	46 720	34
25	92 131	139 128	46 997	34
Celkom za 25 rokov	2 388 398	3 478 200	1 089 802	

Tab. 16 Prehľad výroby a spotreby elektrickej energie

Prvý krok k určení potenciálnej návratnosti je zistiť a porovnať cenu 1 kWh elektrickej energie zo solárneho panelu a zo siete. Tab. 16 uvádza celkovú výrobu elektrickej energie z fotovoltaiického systému a Tab. 15 uvádza celkové náklady. Tieto dve informácie porovnáme a zistíme cenu K pre 1 kWh elektrickej energie.

$$K = \frac{\text{celkové náklady [Kč]}}{\text{množstvo vyrobenej energie FV systému [kWh]}} = \frac{24\,158\,135 \text{ [Kč]}}{2\,388\,398 \text{ [kWh]}} = \mathbf{10,11 \text{ Kč}}$$

Určili sme priemernú cenu 1 kWh elektrickej energie po dobu 25 rokov a porovnáme ju s priemernou cenou elektrickej energie za 1 kWh zo siete.

Podľa štatistického webu[18] stojí dnes 1 kWh elektrickej energie z verejnej siete priemerne **3,95 Kč**. Ak priemerná cena elektrickej energie z verejnej siete sa po dobu 25 rokov nebude výrazne meniť, potom sa fotovoltaiický systém nebude schopný dostať z cenového deficitu. Plus ešte narastú náklady na výrobu kogeneračnej jednotky, pretože počas rokov klesne výkon solárnych panelov.

Preto treba zvážiť nákup nákladných akumuláčnych batérií a možnosť ponechať pripojenie z verejnej siete. Schéma takejto možnosti je uvedená v prílohe č. 2.

Záver

Táto diplomová práca bola rozdelená tematicky na dve veľké časti. A to na teoretickú časť a návrhu fotovoltaiického systému pre sieťovú nezávislosť pre areál firmy Tedom.

V prvej časti boli popísané princípy fotovoltaiických článkov, ich stavba a charakteristiky. Ďalej bol uvedený prehľad využívaných typov solárnych panelov a ich využitie. V ďalších úsekoch teoretickej časti boli popísané jednotlivé komponenty fotovoltaiického systému. Samostatná kapitola úvodnej časti bola venovaná akumulácii elektrickej energie. V tejto kapitole boli vysvetlené jednotlivé spôsoby uchovania elektrickej energie a to predovšetkým batérie, ktoré sú určené na uskladnenie elektrickej energie vyrobenej zo solárnych panelov. Akumulátory jednotlivých typov boli porovnané z viacerých hľadísk, ako životnosť, cykly nabíjania, cena, účinnosť a vplyvy teploty na samotnú činnosť.

V druhej časti bol vykonaný samotný návrh fotovoltaiického systému pre areál firmy. Prvou úlohou bolo získať údaje o spotrebe elektrickej energie areálu, o základných parametroch, ako sú umiestnenie solárnych panelov, možné ich tienenie, ich sklon. Veľkosť fotovoltaiickej elektrárne bola stanovená na základe požiadavky spotrebiteľa, aby sa dosiahla úplná autonómnosť systému počas letných mesiacov pomocou aplikácie európskej únie PVGIS. Mimo letných mesiacov bude fotovoltaiický systém podporovaný kogeneračnou jednotkou, ktorá bude schopná udržať ostrov aj v tých najhorších podmienkach. Výkon fotovoltaiických panelov bol určený na 100 kWp, aby sa kogeneračná jednotka počas letných dní nemusela zapínať. Od inštalovaného výkonu sa potom dimenzovali jednotlivé komponenty ako inventar, menič, batérie a kabeláž. Nakoniec bol celý projekt ekonomicky zhodnotený a obstarávacie náklady na fotovoltaiický systém vyšli na cca 24 158 135 Kč. Návratnosť investície je diskutabilná pretože na tak vysoký inštalovaný výkon bolo potrebné použiť relatívne drahé komponenty a ceny za elektrickú energiu zo siete sú nízke. Treba dobre zvážiť odpojenie od verejnej siete a obstaraní akumulčných batérií, ktoré boli najdrahšou položkou projektu. Záverečným výpočtom sa zistilo, že vzhľadom na drahé komponenty fotovoltaiického systému, vstupné náklady sa za 25 rokov nevrátia. Chcelo by to detailnejšie a úspornejšie riešenia najmä v oblasti drahých komponentov.

Z týchto výsledkov vyplýva, že za súčasných podmienok investícia do fotovoltaiiky ani z ďaleka nie je tak výnosná a atraktívna ako by sa na prvý pohľad mohlo zdať. Avšak trend jednoznačne ukazuje tendenciu vyrábať elektrickú energiu z alternatívnych zdrojov a zároveň ju uchovávať v podobe akumulátorov aj keď to momentálne nie je ekonomicky najvýhodnejšie.

Pre prípadnú realizáciu projektu by som navrhoval ponechať verejnú sieť ako doplnkový zdroj elektrickej energie a v krajom prípade nezaobstarať batériový systém. Ďalej takú optimalizáciu chodu fotovoltaiickej elektrárne, aby životnosť jednotlivých komponentov dosiahla maximum aj na úkor pomeru vyrobenej elektrickej energie zo solárnych panelov a kogeneračnej jednotky.

Zoznam použitých zdrojov

- [1] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] isofenergy.cz [online]. 2010 [cit. 2016-02-6]. Fotovoltaika v podmínkách České republiky.
Dostupné z WWW: < <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx> >.
- [3] cez.cz [online]. 2010 [cit. 2016-04-1]. Solární (fotovoltaické) články.
Dostupné z WWW: < <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm> >.
- [4] Kolektiv autorů, *Navrhování a projektování fotovoltaických elektráren*, Odborná seminář ČKAIT, Czech RE Agency, 2008, FEI ČVUT Praha
- [5] green-t.cz [online]. 2011 [cit. 2016-02-15]. Technologie výroby.
Dostupné z WWW: < <http://www.green-t.cz/fotovoltaika/> >.
- [6] Krejčí, T., *Vypracování studie připojitelnosti pro FV elektrárnu*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 59 s., bakalářská práce, vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Mastný, Ph.D.
- [7] HASELHUHN, Ralf. *Fotovoltaika: Budovy jako zdroj proudu*. Ostrava: HEL, 2010. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [8] oze.tzb-info.cz [online]. 2013 [cit. 2016-03-15]. Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti
Dostupné z WWW: < <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti> >.
- [9] Jak ochránit solární panely před sněhem a ledem?. *ČESKÉ STAVBY: vše o stavbě, zahradě a bydlení* [online]. 2012 [cit. 2016-03-27].
Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/jak-ochranit-solarni-panely-pred-snehem-ledem-21612.html>
- [10] Deramax.cz [online]. 2013 [cit. 2016-04-30]. Solární regulátor a MPPT měnič.
Dostupné z WWW: < <http://www.deramax.cz/6-jaky-solarni-regulator-pouzit-6-dil-ze-serialu-clanku> >.
- [11] Solární moduly [online]. 2011 [cit. 2016-03-08].
Dostupné z WWW: < <http://www.solarnimoduly.cz> >.

-
- [12] oze.tzb-info.cz [online]. 2013 [cit. 2016-04-30]. Akumulaci elektřiny.
Dostupné z WWW: < <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>>.
- [13] sef.solarninovinky.cz [online]. 2010 [cit. 2016-03-22]. Jak správně postupovat při výběru baterie pro skladování elektřiny z OZE v domácnostech
Dostupné z WWW:<http://sef.solarninovinky.cz/_doc/06_C48CVUT20Jak_postupovat_baterii_pro_domacnosti.pdf>.
- [14] oze.tzb-info.cz [online]. 2013 [cit. 2016-04-04]. Náklady na akumulaci elektřiny v sekundárních člancích.
Dostupné z WWW: < <http://oze.tzb-info.cz/10362-naklady-na-akumulaci-elektriny-v-sekundarnich-clancich>>.
- [15] sk.wikipedia.org [online]. 2010 [cit. 2016-04-25]. Česko
Dostupné z WWW: < <https://sk.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cesko>>.
- [16] re.jrc.ec.europa.eu [online]. 2014 [cit. 2016-04-25]. PVGIS
Dostupné z WWW: < <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>>.
- [17] solar-panels-review.toptenreviews.com [online]. 2015 [cit. 2016-04-22]. Solar Panels
Dostupné z WWW: < <http://solar-panels-review.toptenreviews.com>>.
- [18] energie123.cz [online]. 2016 [cit. 2016-05-25]. Aktuální cena elektřiny
Dostupné z
WWW: <<http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh>>

Prílohy

Príloha č. 1: Schéma fotovoltaikej elektrárne s akumuláciou

Príloha č. 2: Schéma fotovoltaikej elektrárne bez akumulácie so sieťou

Príloha č. 3: Datasheet kogeneračnej jednotky Micro T30 SPE

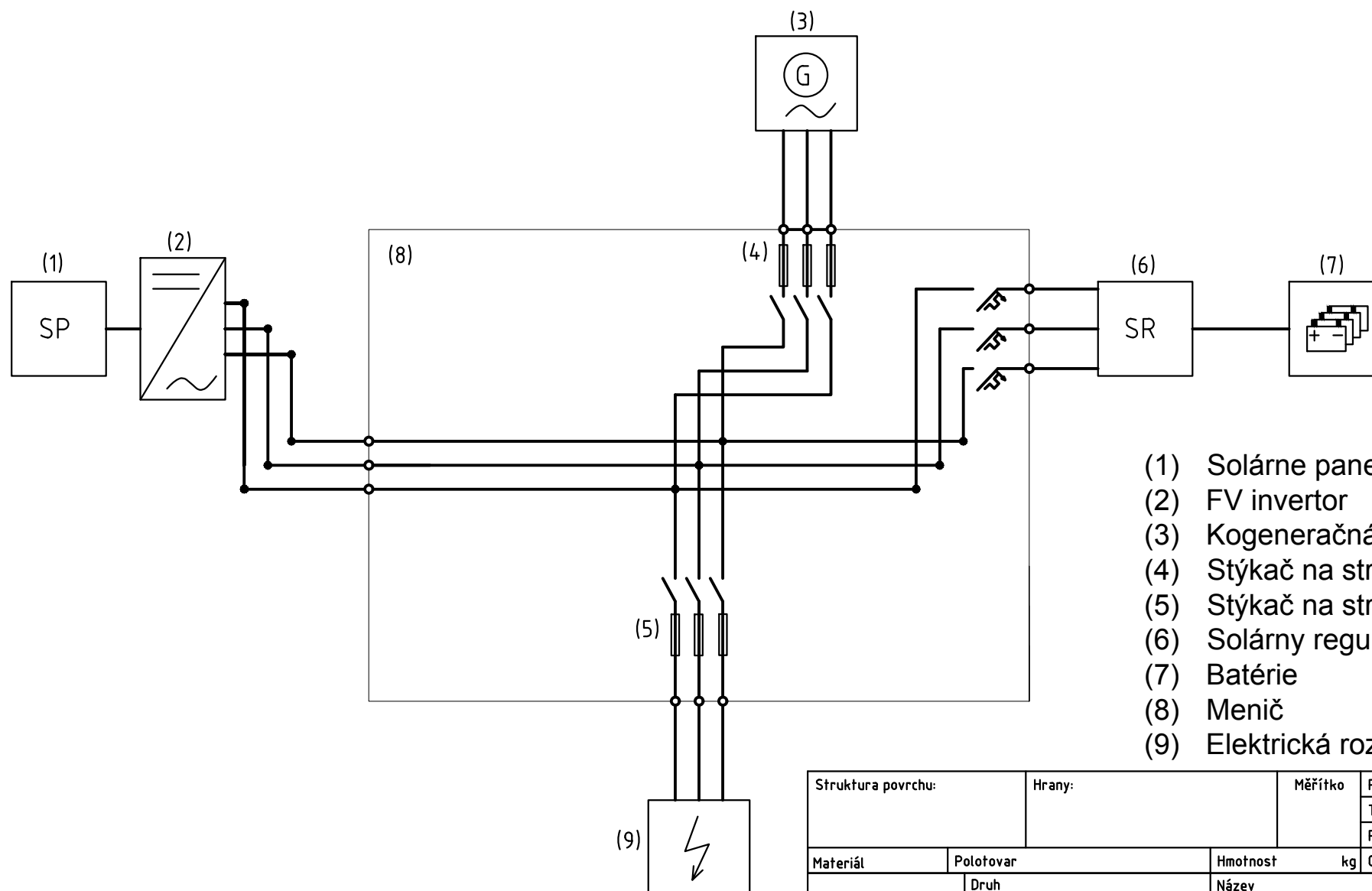
Príloha č. 4: Datasheet solárneho panelu SunPower SPR-327NE-WHT

Príloha č. 5: Datasheet FV invertoru Sunny tripower 25000TL-JP



Príloha č. 6: Datasheet meniča Multicluster-Box 12

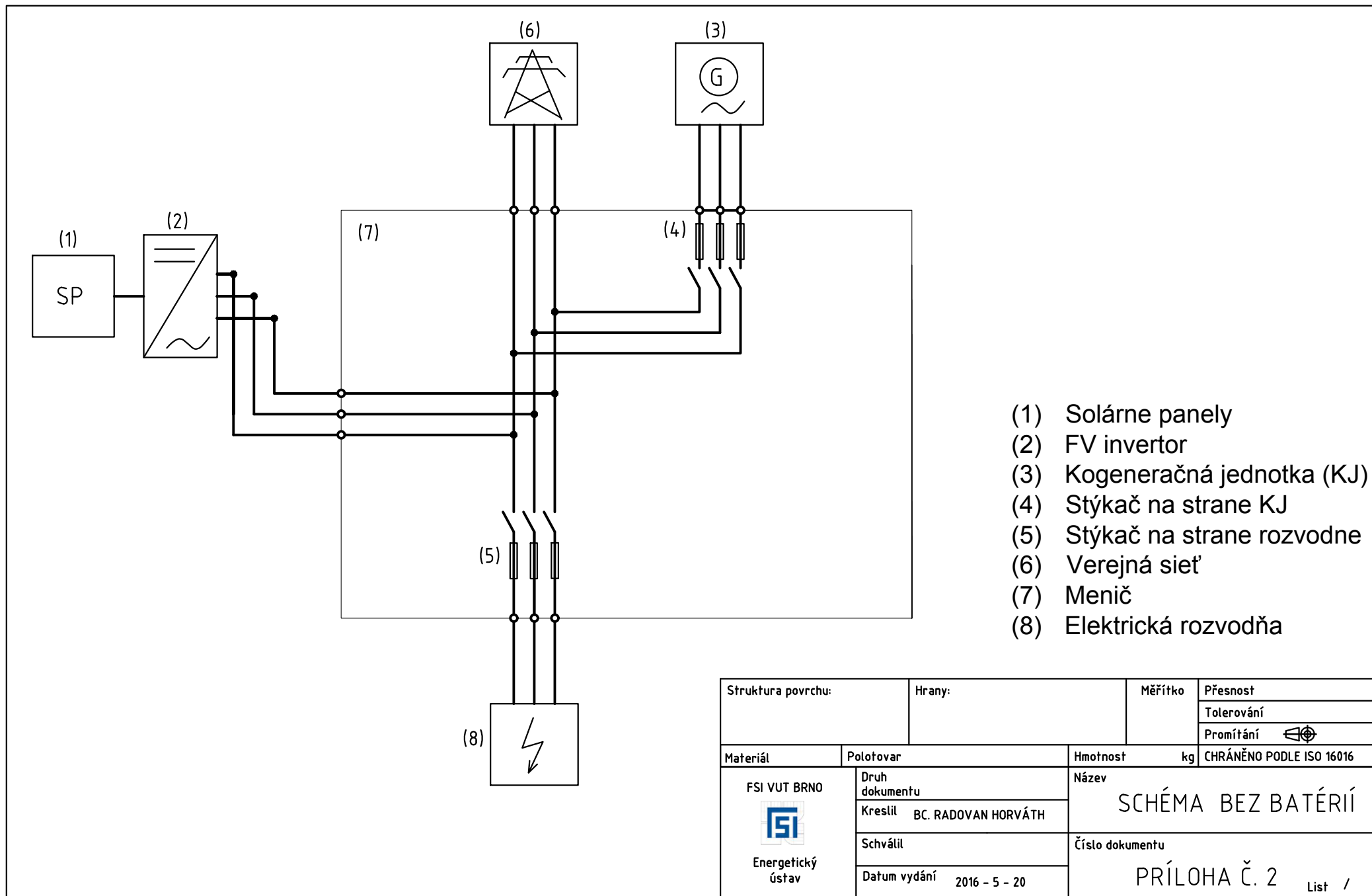
Príloha č. 7: Datasheet batérie Smart Battery 12V 300AH



Príloha č. 8: Datasheet solárneho regulátoru Sunny Central Storage 500



- (1) Solárne panely
- (2) FV inverter
- (3) Kogeneračná jednotka (KJ)
- (4) Stýkač na strane KJ
- (5) Stýkač na strane rozvodne
- (6) Solárny regulátor
- (7) Batérie
- (8) Menič
- (9) Elektrická rozvodňa

Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko	Přesnost
					Tolerování
					Promítání 
Materiál	Polotovary		Hmotnost	kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
FSI VUT BRNO  Energetický ústav	Druh dokumentu		Název		
	Kreslil BC. RADOVAN HORVÁTH		SCHÉMA FV ELEKTRÁRNE		
	Schválil		Číslo dokumentu		
	Datum vydání 2016 - 5 - 20		PRÍLOHA Č. 1		
		List		/	



Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko	Přesnost
					Tolerování
					Promítání 
Materiál		Polotovar		Hmotnost kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
<div>FSI VUT BRNO</div> <div></div> <div>Energetický ústav</div>		Druh dokumentu		Název SCHÉMA BEZ BATÉRIÍ	
		Kreslil BC. RADOVAN HORVÁTH			
		Schválil		Číslo dokumentu PRÍLOHA Č. 2	
		Datum vydání 2016 - 5 - 20			
List /					

Základní charakteristika

Kogenerační jednotky řady Micro jsou kombinované energetické zdroje produkující teplo a elektřinu spalováním plynu. Základní vlastnosti kogeneračních jednotek řady Micro: vysoká účinnost, kompaktnost, dlouhá životnost olejové náplně a s tím spojený dlouhý servisní interval, řadí tyto výrobky mezi moderní energetické zdroje pro vytápění menších objektů.

Z rozhodnutí notifikované osoby byl vydán certifikát potvrzující shodu výrobků řady Micro s požadavky směrnice 2009/142/ES (nařízení vlády č. 22/2003 Sb.) Společnost TEDOM je držitelem certifikátů řízení jakosti QMS a EMS.



Základní technické údaje

Popis jednotky:

Jednotka je určena pro spalování zemního plynu, SPE – osazena synchronním generátorem pracující v kombinovaném elektrickém režimu: P – paralelně se sítí a E – nouzově (při výpadku veřejné rozvodné sítě).

„Základní technické údaje“ jsou platné pro režimy P i E. Další informace v této specifikaci jsou vztahované k režimu P.

provedení		standardní	s kondenzačním výměníkem	
jmenovitý elektrický výkon	P/E	30 / 34 ¹⁾	30 / 34 ¹⁾	kW / kVA
maximální tepelný výkon	P/E	62,0 / 62,4	71,6 / 72,0	kW
příkon v palivu		97,1	97,1	kW
účinnost elektrická	P/E	30,9 / 30,5	30,9 / 30,5	%
účinnost tepelná	P/E	63,9 / 64,3 %	73,7 / 74,2	%
účinnost celková (využití paliva)		94,8 %	104,6 / 104,7 ²⁾	%
spotřeba plynu při 100% výkonu		10,3	10,3	m ³ /h
spotřeba plynu při 75% výkonu		8,3	8,3	m ³ /h
spotřeba plynu při 50% výkonu		6,2	6,2	m ³ /h

Základní technické údaje jsou platné pro standardní podmínky podle dokumentu „Technické instrukce“.

Požadovaný min. trvalý elektrický výkon je 50% jmenovitého výkonu

Spotřeba plynu je uvedena při fakturačních podmínkách (15°C, 101,325kPa)

Technické údaje jsou specifikovány pro teploty 65/85°C

1) zdánlivý elektrický výkon v nouzovém režimu je nepřetížitelný (pro $\cos \varphi = 0,8$)

2) platí pro teplotu vratné vody 35°C

Plnění emisních limitů

KJ plní emisní limity podle následujících nařízení a předpisů:

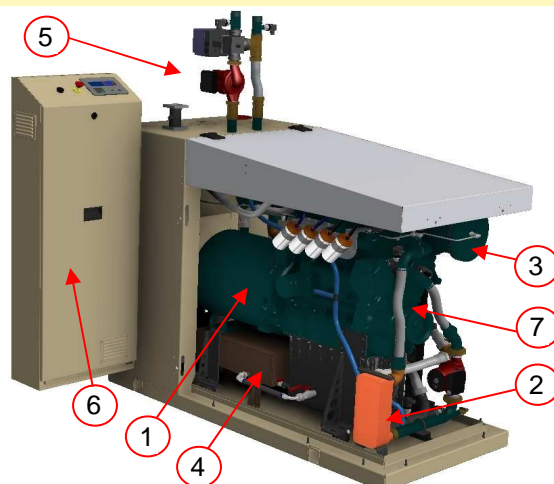
emise	CO	NOx
při 5%O ₂ ve spalínách	300mg/Nm ³	250mg/Nm ³



Orientační popis KJ

Jednotka je tvořena soustrojím motor-generátoru, kompletním tepelným zařízením, včetně elektrorozváděče umožňující paralelní chod se sítí 400V/50Hz. Veškeré prvky jsou zastavěny pod protihlukovým krytem. Teplovodní okruhy jsou přizpůsobeny teplotnímu spádu 20K.

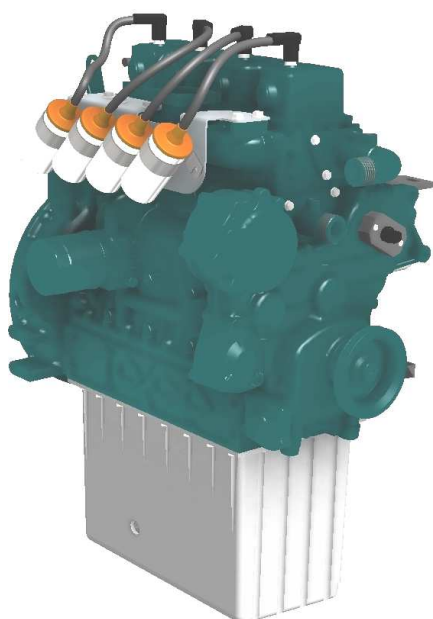
- 1) generátor
- 2) deskový výměník
- 3) spalínový výměník
- 4) olejová nádrž
- 5) připojovací rozhraní (viz poslední list)
- 6) elektrický rozváděč
- 7) spalovací motor



Motor

K pohonu jednotky je použit plynový spalovací motor V3800 výrobek společnosti TEDOM, se základními parametry dle uvedeného přehledu:

počet válců	4
uspořádání válců	v řadě
vrtání × zdvih	100 x 120 mm
zdvihový objem	3769 cm ³
kompresní poměr	13 : 1
otáčky	1500 min ⁻¹
spotřeba oleje normal/max	0,3/0,6 g/kWh
max. výkon motoru	36 kW



Ilustrační obrázek

Generátor

Zdrojem elektrické energie je synchronní generátor typ ATEW 34/4 1S, výrobek firmy Zanardi, Itálie, se základními parametry podle uvedeného přehledu:

výkon generátoru	45 kVA
cos φ	1 / 0,8
účinnost v pracovním bodě	89,5 / 88,1 %
napětí	400 V
frekvence	50 Hz

Tepelný systém

Tepelný systém kogenerační jednotky je z hlediska odběru tepelného výkonu (získaného chlazením spalovacího motoru a spalín) tvořen hydraulickým okruhem, kterým je zajištěno vyvedení tepelného výkonu jednotky do topného systému uživatele. Jednotka umožňuje provoz v různých teplotních režimech. Tepelný systém jednotky je vybaven oběhovým čerpadlem.

Parametry hydraulického okruhu:

tepelný výkon okruhu	62,0 kW
jmenovitý průtok	0,8 kg/s
max. pracovní tlak	600 kPa
vodní objem okruhu v KJ	25 l
tlaková ztráta při jmenovitém průtoku ¹⁾	30 kPa
tlaková rezerva při jmenovitém průtoku ²⁾	50 kPa
maximální teplota vratné vody	70 °C
min. přípustná teplota vratné vody	40 °C
jmenovitý teplotní spád	20 K

1) pokud není použito čerpadlo okruhu

2) pokud je použito čerpadlo okruhu

Není-li v okrajových provozních režimech možné odvést celý tepelný výkon okruhu, lze výkon, nebo jeho část odvádět chladicí jednotkou pro nouzové chlazení, kterou lze samostatně dodat.

Palivo, přívod plynu

Technické parametry uvedené v této specifikaci jsou platné pro zemní plyn o dále uvedených vlastnostech.

výhřevnost	34 MJ/m ³
min. metanové číslo	80
tlak plynu	2 ÷ 10 kPa
max. změna tlaku plynu při změnách spotřeby	10 %
max. teplota	30 °C

Plynová trasa jednotky je sestavena v souladu s TPG 811 01 a obsahuje čistič plynu, sdruženou multifunkční plynovou armaturu, která plní funkce:

- zdvojeného rychlouzavíracího elektromagnetického ventilu pro uzavření přívodu plynu při vypnutí jednotky
- regulaci tlaku plynu vhodnou pro směšování
- pružné spojení kovovou hadicí se směšovačem spalovacího motoru

Pro správný provoz kogenerační jednotky je požadována plynová přípojka o patřičné dimenzi s přiměřeným akumulacním objemem, aby nedošlo k poklesu tlaku plynu v rozvodu v době skokového odběru plynu. Plynová přípojka musí být zakončena ručním plynovým uzávěrem a opatřena tlakoměrem.

Spalovací vzduch, odvod spalín a kondenzátu

Spalovací vzduch je nasáván ze studeného prostoru KJ. Spaliny jsou z jednotky odváděny potrubím (spalinovodem) napojeným na přírubu jednotky. Spalinovod od příruby KJ po sopouch musí být těsný. Spádování spalínovodu musí být směrem od jednotky. Případně vzniklý kondenzát je při provozu jednotky odpařován a odchází společně se spalínami. Materiál spalínovodu a tepelná izolace spalínovodu ve strojovně musí být odolná teplotám do 200°C. Maximální tlaková ztráta celého spalínovodu od příruby jednotky nesmí být větší než 10 mbar. Konstrukce stroje nevyžaduje nucenou ventilaci.

množství spalovacího vzduchu	98 Nm ³ /h
požadovaná teplota spal. vzduchu	od 10 do 35 °C
teplota spalín jmen / max	110/140 °C
max. protitlak spalín za přírubou	10 mbar
množství spalín	108 Nm ³ /h

Náplně

množství mazacího oleje v motoru	30 l
objem rozšiřující olejové nádrže	20 l
množství chladicí kapaliny v primárním okruhu	9 l

Topná voda pro náplň hydraulického okruhu musí být upravená, její složení musí odpovídat dokumentu „Technické instrukce“.

Hlukové parametry

Hlukové parametry udávají úroveň akustického tlaku, měřenou ve volném zvukovém poli. Stanovení měřících míst a způsob vyhodnocení odpovídá ČSN 09 0862. Hluk obsahuje tónovou složku o frekvenci 50Hz.

protihlukový kryt kogenerační jednotky v 1 m	60 dB(A)
vývod spalín v 1m od příruby	57 dB(A)

Barevné provedení

motor, generátor, vnitřní části jednotky, rám a nádrž	RAL 5001 (modrá)
protihlukový kryt	RAL 1001, 1013 (béžová)

Rozměry a hmotnosti jednotky

délka (standardní provedení)	1860 mm
šířka celková	1485 mm
výška	1780 mm
přepravní hmotnost	1200 kg



Navazující podklady

- rozměrový náčrt: MICRO T30
číslo výkresu R1466
- obecně závazné podklady dle dokumentu „Technické instrukce“.

Rozsah dodávky

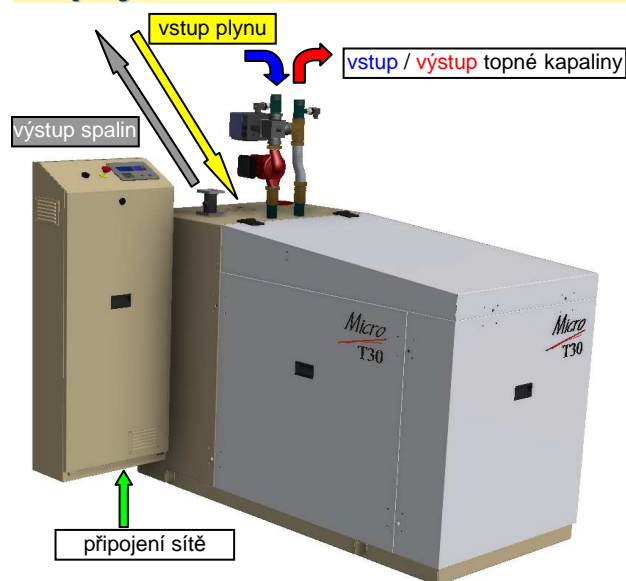
Standardní

- úplný modul kogenerační jednotky

Mimo standardní rozsah

- chladicí jednotka pro nouzové chlazení
- přídavný tlumič výfuku

Připojovací místa



20% EFFICIENCY

SunPower E20 panels are the highest efficiency panels on the market today, providing more power in the same amount of space

MAXIMUM SYSTEM OUTPUT

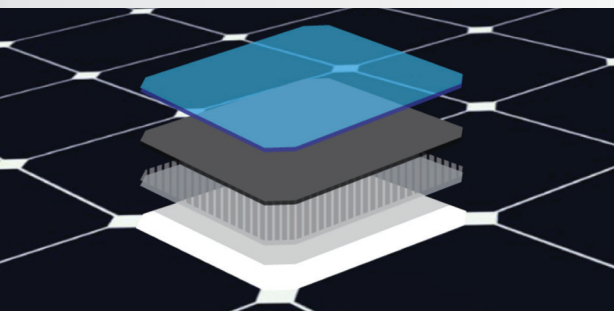
Comprehensive inverter compatibility ensures that customers can pair the highest-efficiency panels with the highest-efficiency inverters, maximizing system output

REDUCED INSTALLATION COST

More power per panel means fewer panels per install. This saves both time and money.

RELIABLE AND ROBUST DESIGN

SunPower's unique Maxeon™ cell technology and advanced module design ensure industry-leading reliability



MAXEON™ CELL TECHNOLOGY

Patented all-back-contact solar cell, providing the industry's highest efficiency and reliability

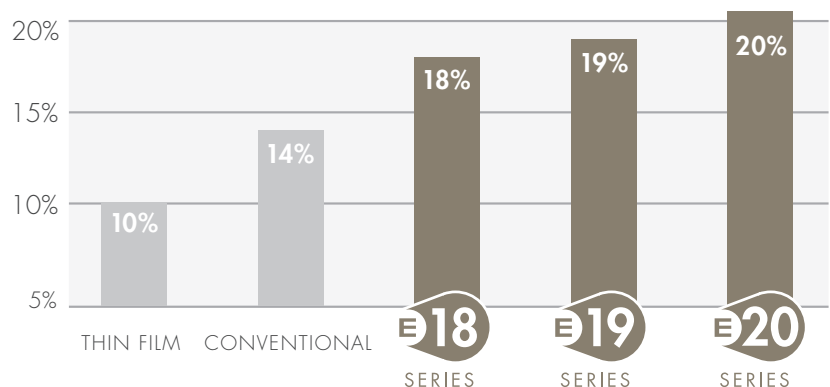


E20
SERIES

THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR™

SunPower™ E20 Solar Panels provide today's highest efficiency and performance. Powered by SunPower Maxeon™ cell technology, the E20 series provides panel conversion efficiencies of up to 20.1%. The E20's low voltage temperature coefficient, anti-reflective glass and exceptional low-light performance attributes provide outstanding energy delivery per peak power watt.

SUNPOWER'S HIGH EFFICIENCY ADVANTAGE



sunpowercorp.com



MODEL: SPR-327NE-WHT-D

ELECTRICAL DATA

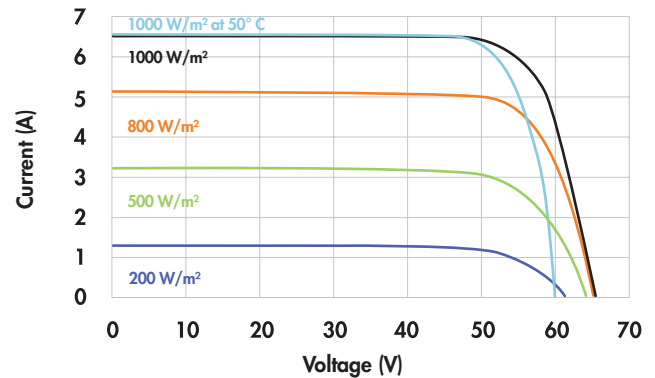
Measured at Standard Test Conditions (STC): irradiance of 1000W/m², AM 1.5, and cell temperature 25° C

Peak Power (+5/-3%)	P _{max}	327 W
Cell Efficiency	η	22.5 %
Panel Efficiency	η	20.1 %
Rated Voltage	V _{mpp}	54.7 V
Rated Current	I _{mpp}	5.98 A
Open Circuit Voltage	V _{oc}	64.9 V
Short Circuit Current	I _{sc}	6.46 A
Maximum System Voltage	UL	600 V
Temperature Coefficients	Power (P)	- 0.38%/K
	Voltage (V _{oc})	-176.6mV/K
	Current (I _{sc})	3.5mA/K
NOCT		45° C +/- 2° C
Series Fuse Rating		20 A
Grounding	Positive grounding not required	

MECHANICAL DATA

Solar Cells	96 SunPower Maxeon™ cells
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes Dimensions: 32 x 155 x 128 mm
Output Cables	1000 mm cables / Multi-Contact (MC4) connectors
Frame	Anodized aluminum alloy type 6063 (black)
Weight	41.0 lbs (18.6 kg)

I-V CURVE



Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module temperature.

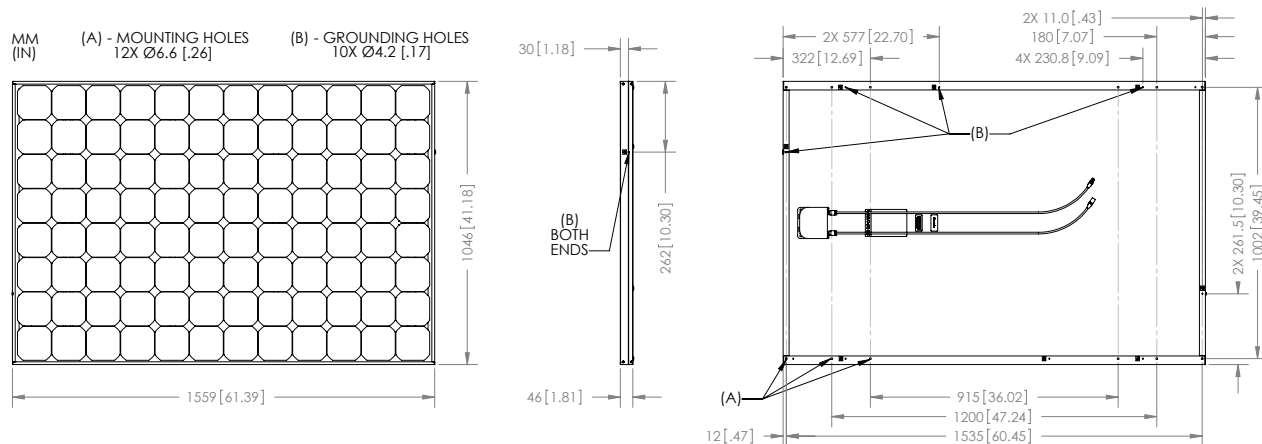
TESTED OPERATING CONDITIONS

Temperature	- 40° F to +185° F (- 40° C to + 85° C)
Max load	113 psf 550 kg/m ² (5400 Pa), front (e.g. snow) w/specified mounting configurations 50 psf 245 kg/m ² (2400 Pa) front and back (e.g. wind)
Impact Resistance	Hail: (25 mm) at 51 mph (23 m/s)

WARRANTIES AND CERTIFICATIONS

Warranties	25-year limited power warranty 10-year limited product warranty
Certifications	Tested to UL 1703. Class C Fire Rating

DIMENSIONS



Please read safety and installation instructions before using this product, visit sunpowercorp.com for more details.

STP 25000TL-JP-30



Efficient

- Efficiency of 98.0% (as per JIS C 8961)
- Peak efficiency of 98.7%

Flexible

- DC input voltage of up to 1000 V
- Optimum system design thanks to multistring concept and step-up converter
- Operating temperature range from -25°C to $+60^{\circ}\text{C}$ through active OptiCool temperature management

Convenient

- Straightforward system visualization and monitoring thanks to Webconnect and Sunny Portal
- Integrated graphic display showing yield values and daily trends

Innovative

- Efficient parameterization and remote monitoring via SMA Cluster Controller and Sunny Portal for medium-sized and large-scale systems

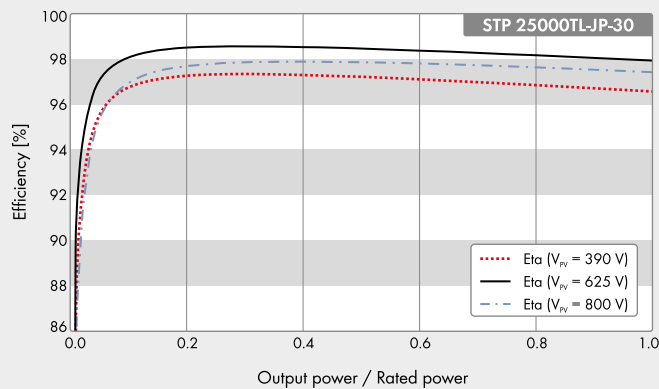
SUNNY TRIPOWER 25000TL-JP

The reliable specialist for decentralized systems on the medium-voltage grid

The new Sunny Tripower 25000TL-JP is the high-performance solution for use in larger, decentralized medium-voltage systems on the Japanese market. This newly developed product is based on the technologically mature Sunny Tripower platform. Users benefit from years of experience and the professional support that SMA as a market leader provides. Its peak efficiency of 98.7 percent ensures high yields, thereby guaranteeing system operators rapid amortization. The multistring concept and wide input voltage range allows for high design flexibility and compatibility with many PV modules on the market.

In addition to professional and efficient system monitoring, the optional SMA Cluster Controller also enables personalized system parameterization using Modbus.

Efficiency Curve



Accessory



DC surge arrester type II,
inputs A and B
DCSPD KIT3-10



Power Control Module
PWCMOD-10



Multi-function relay
MFR01-10

Sunny Tripower 25000TL-JP

Input (DC)	
Max. DC power (@ $\cos \varphi = 1$) / DC rated power	25,550 W / 25,550 W
Max. input voltage	1,000 V
MPP voltage range at nominal voltage / rated input voltage	390 V to 800 V / 625 V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	33 A / 33 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:3; B:3
Output (AC)	
Rated power at nominal voltage	25,000 W
Max. apparent AC power	25,000 VA
Nominal AC voltage	3 / N / PE; 420 V 3 / N / PE; 440 V
AC voltage range	360 V to 480 V
AC power frequency / range	50 Hz / 44 Hz to 55 Hz 60 Hz / 54 Hz to 65 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 420 V
Max. output current	38 A
Power factor at rated power	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited to 0.8 underexcited
THD	$\leq 3\%$
Feed-in phases / connection phases	3 / 3
Efficiency	
Max. efficiency / efficiency as per IEC 6182-1	98.7% / 98.0%
Protective devices	
DC-side disconnection point	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●
DC surge arrester SPD type II	○
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / —
All-pole sensitive residual-current monitoring unit	●
Protection class (as per IEC 62109-1) / overvoltage category (as per IEC 62109-1)	I / AC: III; DC: II
General data	
Dimensions (W / H / D)	661 / 682 / 264 mm (26.0 / 26.9 / 10.4 inch)
Weight	61 kg (134.48 lb)
Operating temperature range	-25°C to +60°C (-13°F to +140°F)
Noise emission, typical	51 dB(A)
Self-consumption (at night)	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool
Degree of protection (as per IEC 60529)	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%
Features	
DC connection / AC connection	SUNCLIX / spring-cage terminal
Display	LC graphic display
Interface	Speedwire / Webconnect
Multifunction relay / Power Control Module	○ / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 years	● / ○ / ○ / ○
OptiTrac Global Peak / FRT* / manual restart	● / ● / ●
● Standard features ○ Optional features — Not available, data at nominal conditions	
* according to JEAC 9701-2012 (3-4)	
Type designation	STP 25000TL-JP-30

MULTICLUSTER SYSTEM 12 FOR SUNNY ISLAND

MC-BOX-12.3-20 / NA-BOX-12.3-20 / GRID-BOX-12.3-20



NEW – for on-grid applications as well.
Optionally available with NA- or GRID-CONNECT-BOX

Flexible

- For off-grid, on-grid and back-up applications
- For power range of 30 to 138 kW
- For TN- and TT-grids

Easy to use

- Integrated AC distribution for Sunny Island, generator, PV and loads (MC-Box 12)

- Retrofittable grid connection (NA-Box 12, Grid-Connect-Box 12)
- Better serviceability

Safe and reliable

- Fulfills German VDE-AR-N 4105
- Integrated residual-current device
- Active anti-islanding

Multiclustertank System 12 for SUNNY ISLAND

Easy creation of powerful on- and off-grid applications

Proven technology with new application areas for PV systems – the SMA Multiclustertank System 12 is now suitable for operation on the utility grid as well. In Germany, it complies with the applicable conditions for connection to the low-voltage grid of VDE-AR-N 4105: With the battery inverters Sunny Island 6.0H or 8.0H and the NA-Box 12, commercial self-consumption and battery-backup systems of up to 100 kWp can be set up. On an international scale, the Grid-Connect-Box 12 can be used to form self-consumption and battery-backup systems with an output of up to 138 kWp. The new Multiclustertank-Box 12 is suitable for TN- and TT-grids thanks to the integrated grounding contactor. In areas with very unstable utility grids, a diesel generator can also be connected. For off-grid regions, the Multiclustertank-Box 12 allows powerful solar off-grid systems with up to 138 kWp to be set up – ideal for commercial enterprises and village power supplies in rural regions.

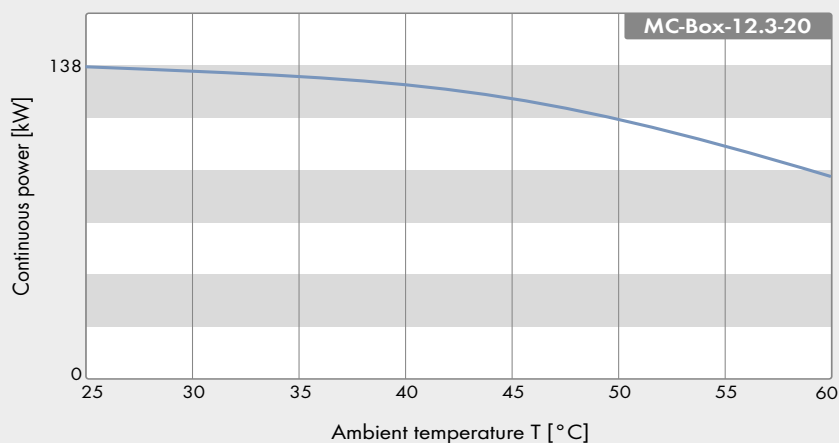
MULTICLUSTER SYSTEM 12 FOR SUNNY ISLAND

Technical data	Multiclust-Box 12
Load connection	
Number of connections	1 x three-phase
Rated power	138 kW
Rated grid voltage	230 V / 400 V
AC voltage range	172.5 V–265 V 300 V–433 V
Current at rated values	3 x 200 A
Terminals for connection N, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Fuse / maximum permissible fuse sizes	NH1 / 200 A
Sunny Island connections	
Maximum number of devices	12
AC rated power / AC current at rated values	72 kW / 12 x 26 A
Rated operating voltage	230 V / 400 V
Terminals for connection N, PE, L	Spring-cage terminals
Fuse	12 x circuit breaker C40 A
Generator connection	
Number of connections	1 x three-phase
Rated grid input power	138 kW
Nominal voltage	230 V / 400 V
AC input current	3 x 200 A
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Fuse / maximum permissible fuse sizes	NH1 / 200 A
PV system connection	
Number of connections	1 x three-phase
Rated power	138 kW
Rated operating voltage	230 V / 400 V
AC current at rated values	3 x 200 A
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Maximum permissible back-up fuse	200 A
NA-Box / Grid-Connect-Box connection	
Number of connections	1 x three-phase
Rated input power	138 kW
Rated operating voltage	230 V / 400 V
Rated current / AC input current	3 x 200 A
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals
Maximum permissible back-up fuse	200 A
General data	
Number of phases	3
Permitted grid configuration	TN-S, TN-C-S and TT
Rated frequency / frequency range	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz
Dimensions (W/H/D)	1,200 / 1,600 / 435 mm (incl. 200 mm base)
Weight	200 kg
Maximum operating altitude above mean sea level	3,000 m
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP55
EMC environment, interference / interference immunity	B / A
Humidity	0% to 100%
Operating temperature range	-25 °C to +60 °C
Output power / rated power at 25 °C	138 kW
Output power / rated power between 25 °C and 60 °C	See "Derating Behavior" diagram
Data cables	●
Warranty (5 years)	●
EC Declaration of Conformity	Yes
● Standard feature ○ Optional feature – Not available	
Type designation	MC-BOX-12.3-20

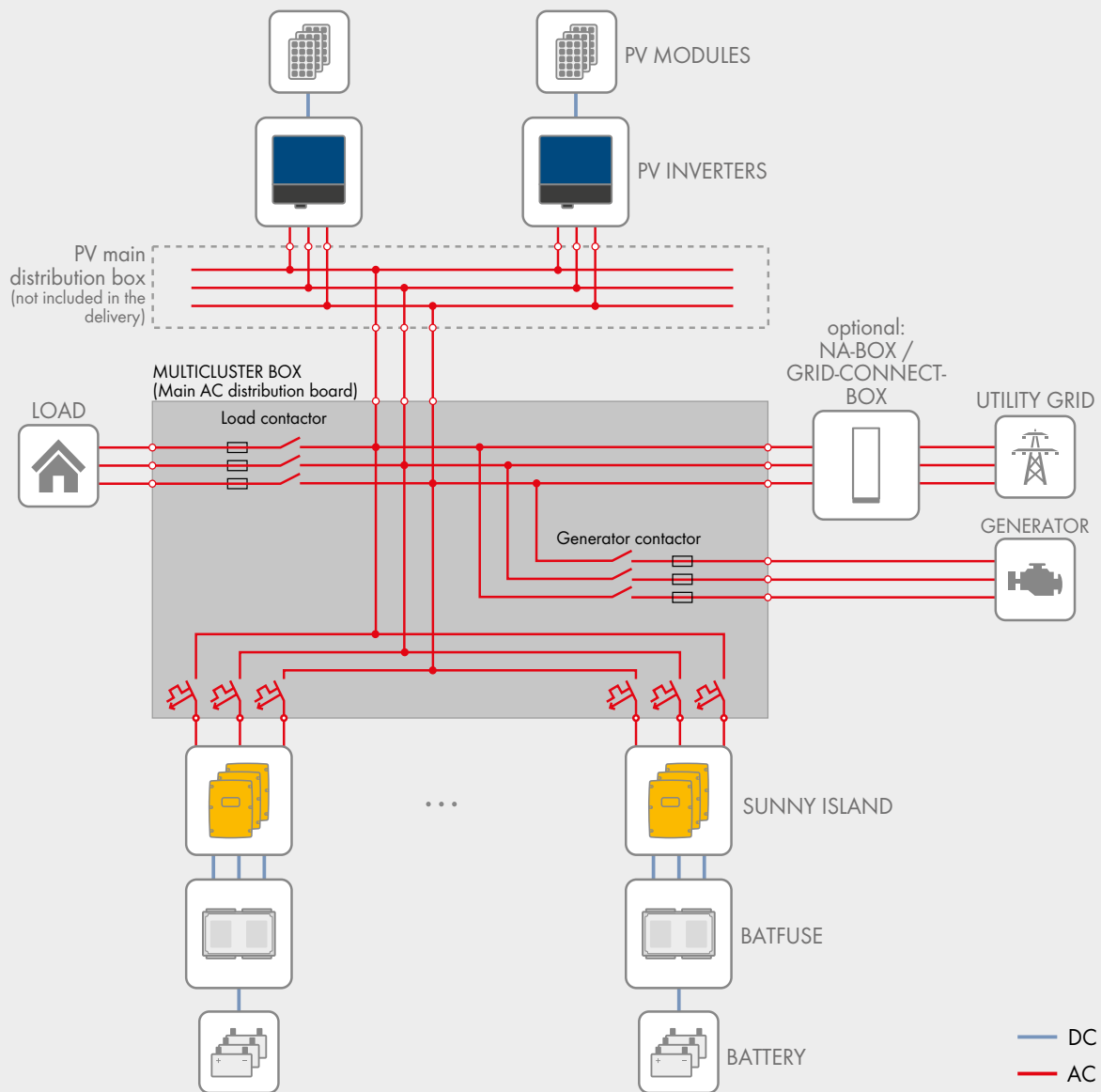
Setting up Multiclusterc systems in stand-alone mode or on the utility grid	Necessary components
OFF-GRID	Multiclusterc-Box 12
ON-GRID (VDE-AR-N 4105)	Multiclusterc-Box 12 and NA-Box 12
ON-GRID (countries in which VDE-AR-N 4105 does not apply)	Multiclusterc-Box 12 and Grid-Connect-Box 12

Technical data	NA-Box 12	Grid-Connect-Box 12
Connection to utility grid		
Number of connections	1 x three-phase	1 x three-phase
Rated input power	138 kW*	138 kW
Rated operating voltage	230 V / 400 V	230 V / 400 V
Rated current / AC input current	3 x 200 A	3 x 200 A
Number of AC contactors	2	1
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals	Spring-cage terminals
Maximum permissible back-up fuse	200 A	Integrated fuse
Fuse / maximum permissible fuse sizes	-	NH1 / 200 A
Connection of Multiclusterc-Box 12		
Number of connections	1 x three-phase	1 x three-phase
Rated input power	138 kW	138 kW
Rated operating voltage	230 V / 400 V	230 V / 400 V
Rated current / AC input current	3 x 200 A	3 x 200 A
Terminals for connection N, PE, L1, L2, L3	Spring-cage terminals	Spring-cage terminals
Maximum permissible back-up fuse	200 A	200 A
General data		
Number of phases	3	3
Permitted grid configuration	TN-S, TN-C-S and TT	TN-S, TN-C-S and TT
Rated frequency / frequency range	50 Hz / 45 Hz to 52 Hz	50 Hz / 45 Hz to 65 Hz
Disconnection	All poles	All poles+ not all poles
Dimensions (W/H/D)	600 / 1,400 / 435 mm (incl. 200 mm base)	600 / 1,400 / 435 mm (incl. 200 mm base)
Weight	103 kg	103 kg
Maximum operating altitude above mean sea level	2,000 m	3,000 m
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP55	IP55
EMC environment, interference / interference immunity	B / A	B / A
Operating temperature range	-20 °C to +50 °C	-25 °C to +60 °C
Humidity	10% to 90%	0% to 100%
Warranty (5 years)	●	●
EC Declaration of Conformity	Yes	Yes
Grid connection standard	VDE-AR-N 4105	—
● Standard feature ○ Optional feature — Not available		
* for Germany: 100 kW power fed into the grid / 138 kW power drawn from the grid and 100 kWp PV		
Type designation	NA-BOX-12.3-20	GRID-BOX-12.3-20

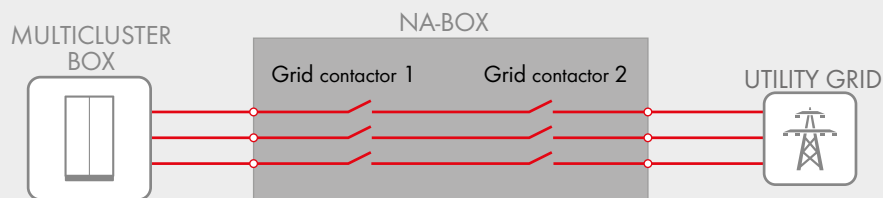
DERATING BEHAVIOR



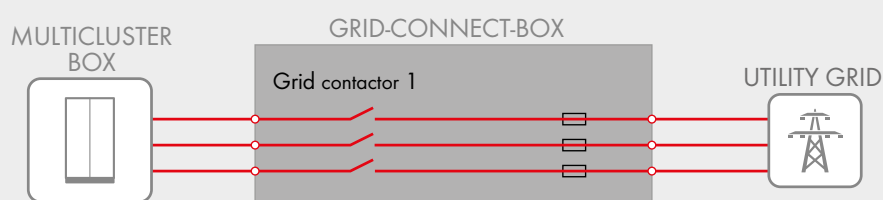
CIRCUITRY PRINCIPLE OF WHOLE SYSTEM



CONNECTION OF NA-BOX (OPTIONAL)



CONNECTION OF GRID-CONNECT-BOX (OPTIONAL)



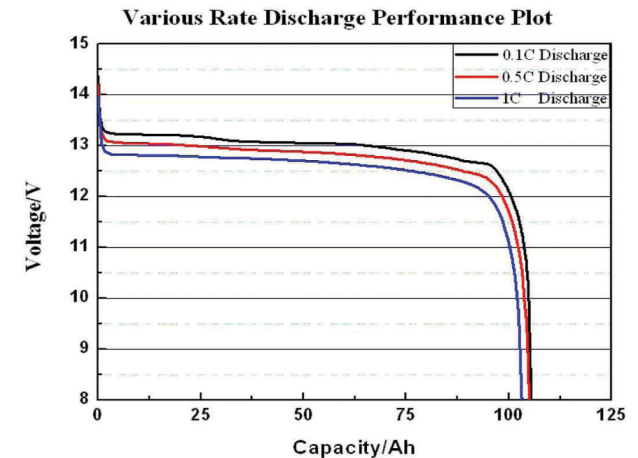


SB300 DATA SHEET

12V 300AH Lithium Ion Battery



Discharge Curves 25°C (77°F)



Cycle life

Capacity at different cycles(%)	100 cycles	102
	500 cycles	96.3
	1000 cycles	90.8
	1500 cycles	85.4
	2000 cycles	80.1
Max.Charge Voltage		14.6 V
Cut-off Voltage		8 V

Amp Hours: 300AH
Voltage: 12.8V Nominal
Cold Cranking Amps: 3000
Life Expectancy: 3000 - 5000 Cycles
LiFePo4 - SAFE BATTERY

Weight: 93 Lbs.
Group Size 8D
Minutes @ 20A 720
Efficiency: 99%
No Memory

Zero Maintenance
Max Continuous Discharge 120A
Operating Temp. - 4 F + 175 F
Auto Low Voltage Cutoff 8V
Auto Over Voltage Cutoff 16V



Smart Battery®
 6011 Benjamin Rd. Tampa FL, 33634
WWW.SMARTBATTERY.COM 1-855-GO-LITHIUM



SUNNY CENTRAL STORAGE

500 / 630 / 720 / 760 / 800 / 850 / 900 / 1000



SCS 500 / SCS 630 / SCS 720 / SCS 760 / SCS 800 / SCS 850 / SCS 900 / SCS 1000



Durable

- Full nominal power in continuous operation at ambient temperatures up to 50°C
- Active temperature management with OptiCool™

Flexible

- Usable with lead-acid, lithium-ion, high-temperature and flow-batteries
- Allows battery control via standard-communication protocol

- Designed for Systems between 500kW up to 2000kW
- Containerized solution available with SMA Medium Voltage Power Station

Versatile

- Grid management functions like dynamic grid support
- Customized computer platform for optimal monitoring and control of inverters

SUNNY CENTRAL STORAGE

500 / 630 / 720 / 760 / 800 / 850 / 900 / 1000

Inverter for Large-Scale Battery Storage Systems

Grid-connected storage systems enable the integration of large amounts of intermittent renewable energy into the utility grid while ensuring maximum grid stability. The Sunny Central Storage is the central component of the SMA system solution for integration of large-scale storage systems. It is designed to compensate for fluctuations in solar energy generation and offers comprehensive grid management services. The battery inverter is optimized for the continuous operation at nominal load and temperatures of -25°C to +50°C and is compatible with different types of battery technologies.

SUNNY CENTRAL STORAGE

500 / 630 / 720 / 760 / 800 / 850 / 900 / 1000

Technical data	Sunny Central Storage 500	Sunny Central Storage 630	Sunny Central Storage 720
DC connection			
Max. DC power (at cos φ =1)	560 kW	713 kW	808 kW
Voltage range	430 V to 850 V	500 V to 850 V	480 V to 850 V
Rated voltage	449 V	529 V	577 V
Max. input current	1400 A	1400 A	1400 A
AC connection			
Rated power (at 25 °C) / nominal AC power (at 50 °C)	550 kVA / 500 kVA	700 kVA / 630 kVA	792 kVA / 720 kVA
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	270 V / 243 V to 310 V	315 V / 284 V to 362 V	324 V / 292 V to 372 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / 47 Hz to 63 Hz		
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 270 V	50 Hz / 315 V	50 Hz / 324 V
Max. AC current / max. total harmonic distortion	1411 A / 0.03		
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.0 leading to 0.0 lagging		
Feed-in phases / connection phases	3 / 3		
Efficiency ¹⁾			
Max. efficiency	98.6%	98.7%	98.6%
Protective devices			
DC side disconnection device	Motor-driven load-break switch		
AC side disconnection device	AC circuit breaker		
DC overvoltage protection	Type I surge arrester		
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III		
Stand-alone grid detection active / passive	● / –		
Grid monitoring	●		
Ground fault monitoring / remote-controlled ground fault monitoring	○ / ○		
Insulation monitoring	○		
Surge arrester for auxiliary power supply	●		
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III		
General data			
Dimensions (W / H / D)	2562 / 2272 / 956 mm (101 / 89 / 38 inch)		
Weight in kg	1900 kg / 4200 lb		
Operating temperature range	–25 °C to 62 °C / –13 °F to 144 °F		
Noise emission ²⁾	63 db(A)	64 db(A)	64 db(A)
Max. self-consumption (operation) ³⁾ / self-consumption (night)	1900 W / < 100 W	1900 W / < 100 W	1950 W / < 100 W
External auxiliary supply voltage	230 V / 400 V (3 / N / PE)		
Cooling concept	OptiCool		
Degree of protection: electronics / connection area (according to IEC 60529) / according to IEC 60721-3-4	IP54 / IP43 / 4C2, 4S2		
Application in unprotected outdoor environments / indoor	● / ○		
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	15% to 95%		
Maximum operating altitude above MSL 2000 m / 3000 m	● / ○		
Fresh air consumption (inverter)	3000 m³/h		
Features			
DC connection / AC connection	Ring terminal lug / ring terminal lug		
Display	HMI touch display		
Communication / protocols	Ethernet (optical fiber optional), Modbus		
Color enclosure / door / base / roof	RAL 9016 / 9016 / 7004 / 7004		
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○		
Configurable grid management functions	Reactive power setpoint, dynamic grid support (e.g. LVRT)		
Certificates and approvals (more available on request)	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EMC-conformity, CE-conformity, BDEW-MSRL-manufacturer’s declaration, Arrêté du 23/04/08		
● Standard features ○ Optional features – Not available			
Type designation	SCS 500	SCS 630	SCS 720

Technical data	Sunny Central Storage 760	Sunny Central Storage 800	Sunny Central Storage 850
DC connection			
Max. DC power (at cos φ =1)	853 kW	898 kW	954 kW
Voltage range	505 V to 850 V	530 V to 950 V	568 V to 950 V
Rated voltage	609 V	641 V	681 V
Max. input current	1400 A	1400 A	1400 A
AC connection			
Rated power (at 25°C) / nominal AC power (at 50°C)	836 kVA / 760 kVA	880 kVA / 800 kVA	935 kVA / 850 kVA
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	342 V / 308 V to 393 V	360 V / 324 V to 414 V	386 V / 348 V to 443 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / 47 Hz to 63 Hz		
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 342 V	50 Hz / 360 V	50 Hz / 386 V
Max. AC current / max. total harmonic distortion	1411 A / 0.03		
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.0 leading to 0.0 lagging		
Feed-in phases / connection phases	3 / 3		
Efficiency ¹⁾			
Max. efficiency	98.6%		
Protective devices			
DC side disconnection device	Motor-driven load-break switch		
AC side disconnection device	AC circuit breaker		
DC overvoltage protection	Type I surge arrester		
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III		
Stand-alone grid detection active / passive	● / –		
Grid monitoring	●		
Ground fault monitoring / remote-controlled ground fault monitoring	○ / ○		
Insulation monitoring	○		
Surge arrester for auxiliary power supply	●		
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III		
General data			
Dimensions (W / H / D)	2562 / 2272 / 956 mm (101 / 89 / 38 inch)		
Weight in kg	1900 kg / 4200 lb		
Operating temperature range	–25°C to 62°C / –13°F to 144°F		
Noise emission ²⁾	64 db(A)	64 db(A)	63 db(A)
Max. self-consumption (operation) ³⁾ / self-consumption (night)	1950 W / < 100 W		
External auxiliary supply voltage	230 V / 400 V (3 / N / PE)		
Cooling concept	OptiCool		
Degree of protection: electronics / connection area (according to IEC 60529) / according to IEC 60721-3-4	IP54 / IP43 / 4C2, 4S2		
Application in unprotected outdoor environments / indoor	● / ○		
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	15% to 95%		
Maximum operating altitude above MSL 2000 m / 3000 m	● / ○		
Fresh air consumption (inverter)	3000 m³/h		
Features			
DC connection / AC connection	Ring terminal lug / ring terminal lug		
Display	HMI touch display		
Communication / protocols	Ethernet (optical fiber optional), Modbus		
Color enclosure / door / base / roof	RAL 9016 / 9016 / 7004 / 7004		
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○		
Configurable grid management functions	Reactive power setpoint, dynamic grid support (e.g. LVRT)		
Certificates and approvals (more available on request)	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EMC-conformity, CE-conformity, BDEW-MSRL-manufacturer’s declaration, Arrêté du 23/04/08		
● Standard features ○ Optional features – Not available			
Type designation	SCS 760	SCS 800	SCS 850

Technical data	Sunny Central Storage 900	Sunny Central Storage 1000
DC connection		
Max. DC power (at cos φ = 1)	1010 kW	1122 kW
Voltage range	596 V to 950 V	596 V to 900 V
Rated voltage	722 V	688 V
Max. input current	1400 A	1635 A
AC connection		
Rated power (at 25 °C) / nominal AC power (at 40 °C/at 50 °C)	990 kVA / 900 kVA	1100 kVA / 1000 kVA / 900 kVA
Nominal AC voltage / nominal AC voltage range	405 V / 365 V to 465 V	
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / 47 Hz to 63 Hz	
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 405 V	
Max. AC current / max. total harmonic distortion	1411 A / 0.03	1568 A / 0.03
Power factor at rated power / displacement power factor adjustable	1 / 0.0 leading to 0.0 lagging	
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	
Efficiency ¹⁾		
Max. efficiency	98.6%	98.7%
Protective devices		
DC side disconnection device	Motor-driven load-break switch	
AC side disconnection device	AC circuit breaker	
DC overvoltage protection	Type I surge arrester	
Lightning protection (according to IEC 62305-1)	Lightning Protection Level III	
Stand-alone grid detection active / passive	● / –	
Grid monitoring	●	
Ground fault monitoring / remote-controlled ground fault monitoring	○ / ○	
Insulation monitoring	○	
Surge arrester for auxiliary power supply	●	
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	
General data		
Dimensions (W / H / D)	2562 / 2272 / 956 mm (101 / 89 / 38 inch)	
Weight in kg	1900 kg / 4200 lb	
Operating temperature range	–25 °C to 62 °C / –13 °F to 144 °F	
Noise emission ²⁾	64 db(A)	68 db(A)
Max. self-consumption (operation) ³⁾ / self-consumption (night)	1950 W / < 100 W	
External auxiliary supply voltage	230 V / 400 V (3 / N / PE)	
Cooling concept	OptiCool	
Degree of protection: electronics / connection area (according to IEC 60529) / according to IEC 60721-3-4	IP54 / IP43 / 4C2, 4S2	
Application in unprotected outdoor environments / indoor	● / ○	
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	15% to 95 %	
Maximum operating altitude above MSL 2000 m / 3000 m	● / ○	
Fresh air consumption (inverter)	3000 m³/h	
Features		
DC connection / AC connection	Ring terminal lug / ring terminal lug	
Display	HMI touch display	
Communication / protocols	Ethernet (optical fiber optional), Modbus	
Color enclosure / door / base / roof	RAL 9016 / 9016 / 7004 / 7004	
Guarantee: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○	
Configurable grid management functions	Reactive power setpoint, dynamic grid support (e.g. LVRT)	
Certificates and approvals (more available on request)	EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EMC-conformity, CE-conformity, BDEW-MSRL-manufacturer's declaration, Arrêté du 23/04/08	
● Standard features ○ Optional features – Not available		
Type designation	SCS 900	SCS 1000

1) Efficiency measured without internal power supply

2) Sound pressure level at a distance of 10 m

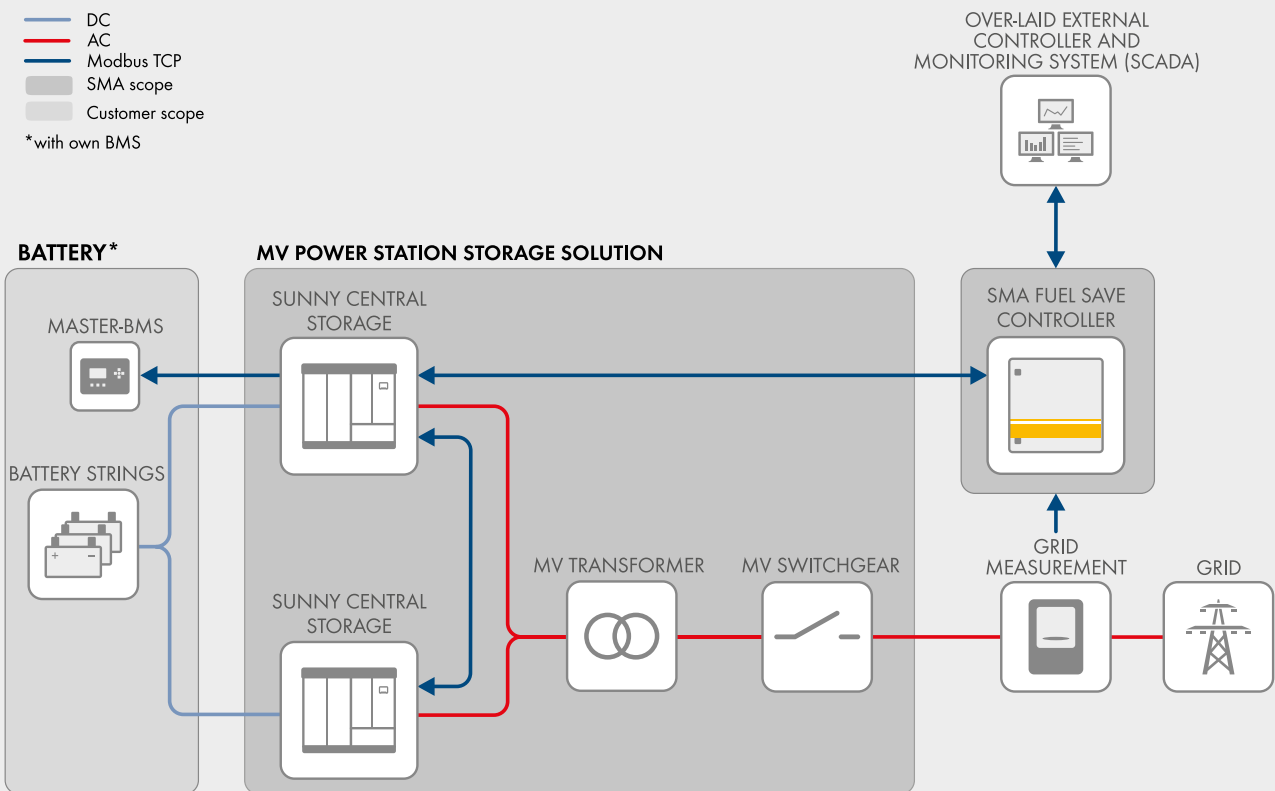
3) Self-consumption at rated operation

SUNNY CENTRAL STORAGE

500 / 630 / 720 / 760 / 800 / 850 / 900 / 1000

APPLICATIONS

- Supports the growth of renewable energy in public grids
- Increases fuel saving potential in PV Hybrid Diesel systems
- Provision of grid ancillary services



By combining several of these schemes, higher power systems can be realized

FUNCTIONS

- Set point for active and reactive power
- Four quadrant operation
- Frequency and voltage control thru P(f) and Q(U)
- Ramp-Rate Control of PV power
- Peak shaving and peak shifting
- Optimized operation of genset
- Reducing necessary spinning reserve of gensets
- Battery start up and stop sequence
- Always stays in the battery normal operation window

